

## 연속 스탬핑 작업시 리어 플로어 성형성 향상기술 개발

김동환\*(진주국제대학교 자동차공학과), 이정민, 고영호(부산대학교 대학원 정밀기계공학과),  
차해규(진주산업대 기계공학과), 김병민(부산대학교 기계공학부)

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

D. H. Kim(Automotive Eng. Dept. JIU), J. M. Lee, Y. H. Go(Precision Mecha. Eng. Dept., PNU),  
H. G. Cha(Mecha. Eng. Dept., JNU), B. M. Kim(School of Mecha. Eng., PNU)

#### ABSTRACT

A fracture was generated by change of clearance and deterioration of material properties on the sheet metal through temperature. This paper describes the results of a prediction about the temperature of the sheet metal during continuous stamping process, because the temperature increase of the sheet metal has a detrimental effect on formability. To analyze the temperature increase of the sheet metal during continuous stamping process, tensile and friction tests were performed from room temperature to 300 °C at warm condition in this study. As temperature increase, tensile strength, elongation, strain hardening exponent and anisotropy coefficient for each specimens were decreased. On the other hand, friction coefficients were increased. From the FE-simulation results, temperature upward tendency was identified on dies and sheet metal. These observations are rationalized on the basis of the material properties, friction coefficient vs. temperature relationship for the sheet.

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

#### 1. 서론

산업현장, 특히 자동차 회사에서는 강판재의 성형에 관한 제반 문제들이 매우 큰 비중을 차지한다. 부품의 종류에 따라 성형 형태가 다양하지만, 특히 내판의 성형에서는 결함 없이 성형이 될 수 있을까 하는 것이 큰 관심사가 되어 있다. 결함의 원인으로서는 첫째, 제품 형상 자체의 드로잉 깊이가 소재의 성형한계에 가깝기 때문에 성형성 안정 영역이 축소됨에 따라 성형공정이 소재물성의 편차에 상당히 민감하기 때문이라 판단된다. 둘째, 약 200 회 이상의 연속 작업 시 금형에 열이 축적되어 금형온도 상승에 의한 소재의 두께 증가로 인하여 마찰이 증대되고, 유입성이 저하되며, 소재온도의 상승에 의한 재질 열화가 발생하기 때문에 성형 시 소재 파

단 등의 불량률이 높아진다.<sup>(1)</sup>

지금까지는 성형성이 향상된 재질을 찾는 방향으로 이러한 문제에 대응하여 왔으나, 이러한 방식의 대책수립에는 한계가 있음이 밝혀지고 있다. 또한 수 백 회 이상의 연속 작업시에는 금형온도의 상승 뿐 만 아니라, 그에 따른 금형의 마멸특성, 금형사이의 틈새감소, 마찰 특성의 변화 등이 수반되기 때문에 이에 따른 체계적인 연구가 필수적이다. 일반적으로 연속 프레스 작업 시 금형 및 소재의 마찰열과 재료 내부의 소성 변형 열로 인해 금형재, 패널 소재, 드로잉 유 등의 특성이 변화하여 제품 불량 및 생산성 저하의 요인이 되고 있으나, 현재의 금형 및 소재 온도 상승으로 인한 불량 방지 대책은 현장의 경험에 지나치게 의존하고 있다. 따라서 금형 온도 변화에 따른 자동차 차체 부품의 성

형성에 관한 기초 기술 및 성형인자 특성변화 연구를 위한 CAE(computer-aided engineering) 기술이 절실히 요구되고 있다.<sup>(2)</sup>

연속 프레스 작업 시 성형성 향상을 위하여 유한요소법(FEM)을 이용한 프레스 성형 중 발생하는 금형온도 상승에 관한 이해와 성형 열 발생에 대한 기초지식의 확보가 필요하다. 또한, 금형온도 상승을 억제하는 부품 설계법 및 성형법의 확립이 요구되며, 연속 프레스 작업을 고려한 강판의 성형성 향상 기술의 확보가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 연속 스프랭 제품의 성형성 향상기술 및 이의 응용기술을 개발하기 위하여 연속 프레스 작업 시 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 강판 소재 SPCD, SPCEN, SGACEN 에 대하여  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ , 그리고  $300^{\circ}\text{C}$  까지  $50^{\circ}\text{C}$  간격으로 인장시험을 수행한다. 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  $550^{\circ}\text{C}$

Table 1 Tensile test conditions

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

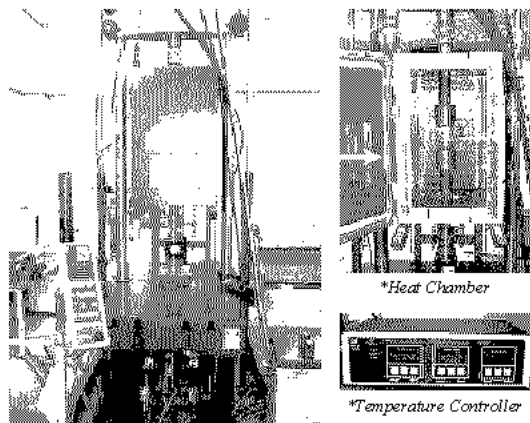


Fig. 1 Photograph of warm tensile test apparatus

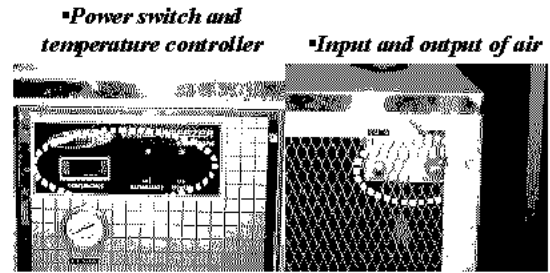


Fig. 2 Cooling system for tensile test

까지 가열 가능하고,  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  오차범위를 갖는 열 챔버(Heat Chamber)와 Fig. 2 의 냉각장치(SWSF06)를 이용하여 시편 종류와 조건에 따라 인장 시험을 수행하였다. 또한, 시험은 재현성을 위해 동일 조건에서 3 회씩 반복 수행하였다.

### 2.2 마찰시험

온도 변화에 따른 자동차용 판재의 마찰 특성을 파악하기 위하여 온간 마찰시험을 수행하였다. Table 2 에 나타난 바와 같이 마찰 시험은 세 가지 자동차 강판 SPCD, SPCEN, SGACEN 에 대하여  $300^{\circ}\text{C}$  까지  $50^{\circ}\text{C}$  간격으로 수행되었다. 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.

본 연구에서는 금형 교환 및 시편 인출을 용이하게 하기 위해 열 손실을 감소한 개방형으로 설계하였다. 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  $45\text{mm} \times 400\text{mm}$ , 금형과의 접촉면은  $52.5\text{mm} \times 45\text{mm}$  이다. 본 연구에서는 모든 금형에 대하여 소재의 인출방향과 금형의 연마방향(Fig. 4)을 동일하게 하였다.<sup>(7)</sup>

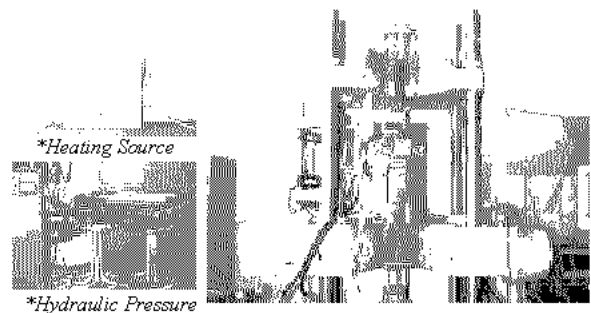


Fig. 3 Photograph of warm friction test apparatus

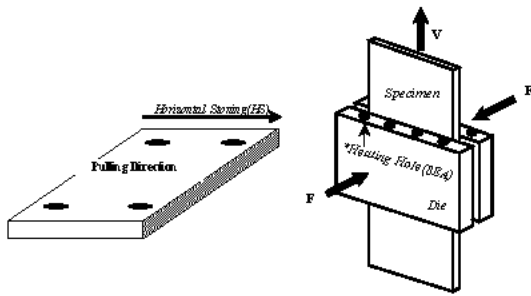


Fig. 4 Stoning & pulling direction and straight pulling friction tester

### 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, Fig. 6 에 나타낸 바와 같이 연신율은 약 50°C 를 기점으로 400°C 까지 온도가 상승함에 따라 감소하였다. 또한, 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 의미한다. Fig.8 은 온도에 따른 SPCEN 소재의 수직 이방성( $r_m$ )을 나타낸 것으로 온도가 상승할수록 이방성 계수는

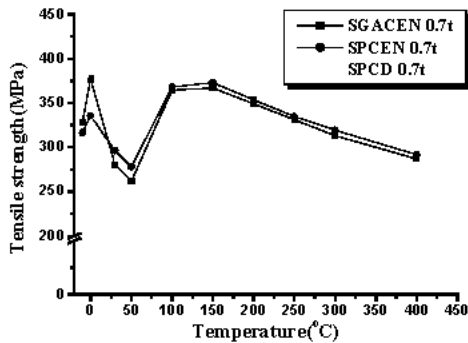


Fig. 5 Tensile stress depending on temperature

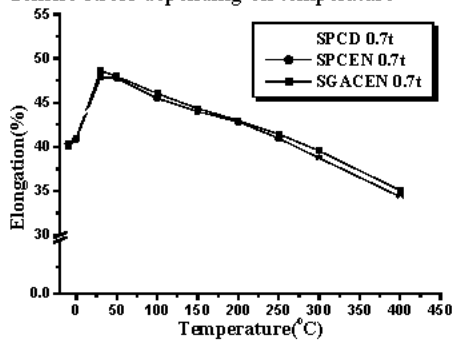


Fig. 6 Elongation depending on temperature

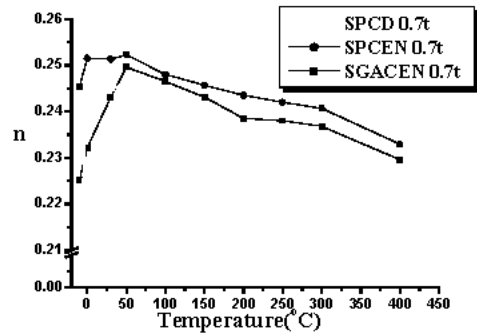


Fig. 7 Hardening exponent (n) depending on temperature

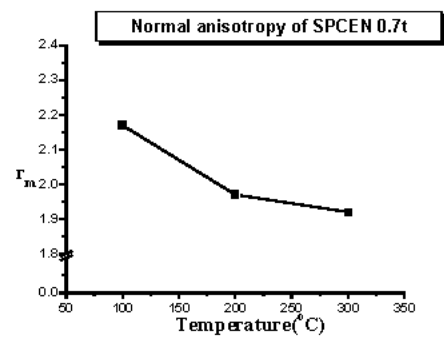


Fig. 8 Normal anisotropy of SPCEN depending on temperature

감소하였고 따라서 온도가 상승할수록 소재의 드로잉성이 낮아짐을 알 수 있다.

#### 3.2 마찰시험결과

Fig. 9 의 온도에 따른 마찰계수시험 결과를 보면 온도가 상승함에 따라 마찰계수는 조금씩 낮아지다가 약 200°C 부터는 증가하였다. 특히, SPCD 소재의 경우 200°C 이상에서 소음과 진동을 동반한 떨림(chattering) 현상이 나타났고 마찰계수는 급격히 상승되었다. 이것은 온도 상승으로 인해 금형이 열팽창 되고 이로 인한 금형과 소재의 실 접촉면이 증가하여 금형과 시편사이에 표면 응착이 발생하기 때문이라 사료된다.

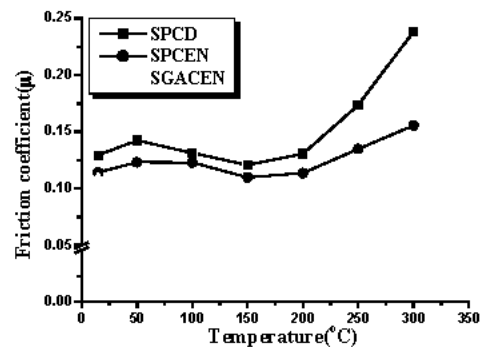


Fig. 9 Tensile stress depending on temperature

#### 4. 연속 스탬핑 공정의 유한요소해석

연속 프레스 작업시 성형열과 마찰열에 기인한 금형과 소재의 온도해석을 수행하기 위하여 자동차용 강판의 온도에 따른 인장 및 마찰시험결과를 바탕으로 Fig. 10의 자동차 리어 플로어에 대하여 유한요소해석을 수행하였다. 소재는 SPCEEN 0.7t 금형재질은 SKD11로 하여 해석을 수행하였다.<sup>(3)</sup>

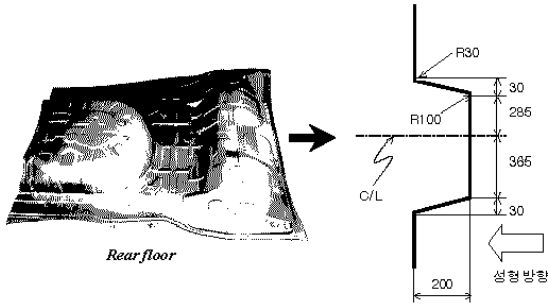


Fig. 10 Simplified model of rear floor for FE-simulation

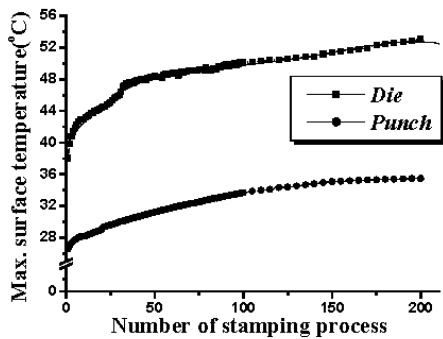


Fig. 11 Surface temperatures of tools for stamping process

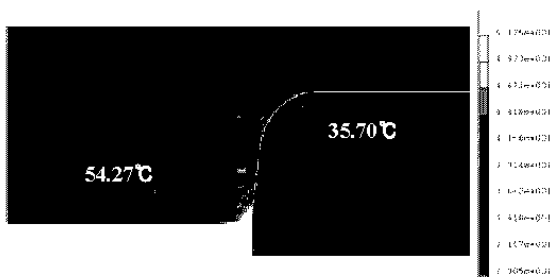


Fig. 12 Die and punch temperature after No.200 stamping

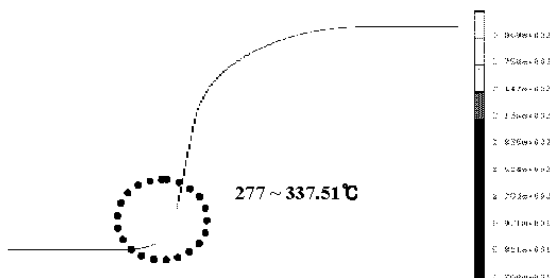


Fig. 13 Sheet temperature after No.200 stamping

200 타 연속 스탬핑 공정에 대한 금형의 온도변화를 Fig. 11에 나타내었다. 하부 금형의 온도는 약 54°C, 상부 금형 펀치의 온도는 약 36°C 까지 상승하였다(Fig. 12). 판재의 온도는 타수에 따라 미소하게 상승하고 Fig. 13에 나타난 바와 같이 소재가 유입되는 하부 금형과 맞닿는 곡률부위에서 최대 약 330°C 까지 상승하였다. 본 연구결과로부터 연속 스탬핑 공정에서 판재의 파단은 온도 상승으로 인한 소재 물성의 열화뿐만 아니라 온도에 따른 마찰 특성 악화 및 열팽창으로 인한 금형 틈새의 감소가 더해지면서 파단에 이르게 됨을 확인 할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 연속 스탬핑 제품의 성형성 향상 기술 및 이의 응용기술을 개발하기 위하여 자동차 강판의 온도에 따른 기초 물성 시험을 수행한 후, 리어 플로어 연속 성형에 대한 금형의 온도 해석을 수행하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 온도 변화에 따라 자동차용 강판 소재의 인장 시험을 수행한 결과 0°이하 및 고온 (50°C 이상) 으로 갈수록 가공경화지수, n 값 및 이방성 계수, r 값이 감소하였다.
- (2) 마찰계수는 온도가 증가함에 따라 미소하게 감소하다 150°C 이후부터 상승하였고, SPCEEN의 경우 200°C 부터 마찰계수는 급격히 상승하였다.
- (3) 온도 상승에 의해 제품이 파단에 이르게 되는 것은 단순히 소재의 성형성 저하에만 기인하는 것이 아니라, 마찰 계수의 증가로 인해 금형과 소재의 온도가 더욱 상승하고 이로 인한 금형의 열팽창량이 증가하므로 금형 틈새가 줄어들어 재료 유입을 어렵게 함을 알 수 있었다.

#### 후 기

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2003-003-D00025)

#### 참고문헌

1. Leighton, D. E. and Lee, D., "The Effect of Tooling Temperature on the Formability of Sheet Steel," JMPT, Vol. 45, pp 577 - 582, 1994
2. Thomas, W., Oenoki, T. and Altan, T., "Process Simulation in Stamping," JMPT, Vol.98, pp.232 - 243, 2000
3. 고영호, 김병민, 김동환, "유한 요소 해석을 통한 연속 프레스 공정에서의 온도 예측," 한국정밀공학회 추계학술대회, pp. 974 - 977, 2003