

오일팬용 재료의 온간 성형한계도에 관한 연구

이항수* · 오영근** · 최치수**

(2000년 9월 7일 접수)

Study on the Forming Limit Diagram of Steel Sheets for the Oil Pan of Automobile at the Warm Forming Condition

H. S. Lee, Y. K. Oh and C. S. Choi

Abstract

The purpose of this study is to provide the database of forming limit diagram applicable to the warm forming of oil pan. The test materials are SCP1 and SCP3C with the thickness of 1.4mm which is used for the oil pan of automobile. The testing temperature is 5°C~150°C which is in the range of practical usage. The results are the forming limit diagram, limiting dome height and the maximum punch load at each temperature such as 5°C, 25°C, 60°C, 90°C, 120°C and 150°C. From these results, we can see that the forming limit curves are translated depending upon the temperature and that FLC at low temperature is higher than at high temperature. Both of limiting dome height and maximum punch load also decrease as the temperature increases. Present results can be useful for die trial and forming analysis as a tool of evaluating the forming severity for the sheet metal forming processes at the warm working condition by comparing the practical strains with FLC.

Key Words : Forming Limit Diagram, Forming Limit Curve, Oil Pan, Forming Severity, Warm Forming, Hemi-spherical Punch Stretching

1. 서론

자동차의 엔진을 구성하는 중요부품 중의 하나인 오일 팬을 제조하는 데에는, 적당한 두께의 강판을 프레스 성형하는 방법과 알루미늄 합금을 주조하는 방법이 있다.

이들 방법 중 알루미늄합금의 주조품은 진동흡수 등의 장점이 있으나 재료비 및 가공비가 많이 드는 단점이 있어, 보통은 제조비가 적게 소요되는 강판의 프레스 성형법을 이용하는 경우가 많다. 오일팬의 프레스성형법에서는 ①전단-②성형(1차 및 2차 디프트로잉)-③트리밍-④

* 한라대학교 기계공학부
** 기아자동차(주) 생기개발팀

엠보싱 및 사이징의 공정을 적용하여 제품생산을 하고 있는데, 제품의 생산성과 품질향상을 위해 성형공정(1차 디프드로잉, 2차 디프드로잉)을 하나로 축소하기 위한 시도가 많이 있다. 이러한 시도의 대표적인 방법에는 온간성형법이 있다. 온간성형법의 가장 큰 특징은 다이와 펀치를 가열하거나 냉각시켜 소재의 온도를 국부적으로 서로 다르게 조절하여, 이에 따른 성형특성의 변화를 활용한다는 점이다. 즉, 소재의 온도가 높아지면 인장강도 및 압축강도가 낮아지고, 반대로 온도를 낮추면 인장에 의한 파단 내력을 높일 수 있음을 활용한다. 따라서 일반적인 온간성형법에서는 펀치를 냉각하여 이에 접촉하는 부분에 대해서는 파단강도를 높이고, 다이부분을 가열하여 플랜지부위의 압축강도를 낮추어 다이구멍(die cavity)으로의 유입저항을 줄여 디프드로잉의 성형한계를 높인다.

한편, 프레스성형에 있어 소재의 성형특성은 가공의 성패에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소라는 점에서 매우 중요하다. 일반적으로는 상온에서 프레스 성형을 적용하는 경우가 많으므로 대부분은 상온에서의 역학적 현상에 의해 영향을 받고 있으나, 본 연구에서 관심이 되는 온간성형법에서는 소재의 온도가 국부적으로 다르게 됨에 따라 성형성의 온도특성에 대한 고찰이 필요하다. 즉, 효과적인 온간성형법의 적용을 위해서는 위치마다의 온도에 따른 재료의 성형특성을 고려해야 하며, 근래에 많이 활용되고 있는 성형해석에 있어서도 실제와 유사하게 온도특성을 고려하는 것이 필요하다.

박판 소재의 성형성은 재료가 네킹이나 찢어짐이 없이 원하는 형상으로 만들어질 수 있는 능력으로 정의되며, 소재 자체의 고유한 특성으로 소재의 화학성분과 밀접하다. 판재의 프레스성형은 주로 2축 응력(plane stress) 상태에서의 변형으로 고찰되며, 이를 위한 모델 시험법에는 Swift 컵 드로잉 시험, 에릭센 시험, 코니컬 컵 시험 등이 있다. 이들 방법은 대부분 단순 공정의 한가지 모드를 대표하는 것이어서 국부적인 위치에서의 성형성을 표현할 수 있는 방법으로는 적합하지 않으므로 재료의 실제 사용조건에 가장 유사한 방법으로 실험실적 시험을 실시하여 성형성을 평가할 필요성이 대두된다. 이러한 관점에서 성형한계도(forming limit diagram ; FLD)가 도입되었으며, 관심의 대상이 되는 성형품의 부위별 변형률을 측정하여 성형한계선(forming limit curve ; FLC)과 비교함으로써 성형의 성패여부 및 성형난이 정도를 쉽게 평가할 수 있다. 그리고 성형해석 도중에도 각 위치마다의 변형률 상태를 FLC와 비교하여 성형가공의 성패를 판단함은 물론 금형을 제작하기 전에 금형설

계도를 수정하도록 할 수 있다.

온간성형법 및 성형특성의 온도의존성에 대한 연구사례들은 다음과 같다.

渡部 등^(1,2)은 펀치를 0℃~10℃의 저온으로 냉각시킴과 동시에 다이와 블랭크홀더를 150℃까지 가열시키면서 소재의 인장강도와 연신율의 온도의존성을 조사하였으며, 한게드로잉비의 온도의존성을 연구하여 국부적인 가열·냉각에 의해 드로잉성을 향상시킬 수 있음을 보였다. Ayres⁽³⁾는 알루미늄 킬드강에 대하여 등온 및 비등온 조건에서의 온도상승이 연신율에 미치는 영향을 조사하였다. Ohwue^(4,5)등은 연강판의 정열취성 효과를 응용하기 위하여 온도변화에 의한 기계적성질의 변화를 조사하고, 원통드로잉 및 각통드로잉에 대해 드로잉성을 조사하였다. 松倉⁽⁶⁾등은 자동차부품 중에서 높은 디프드로잉 성형성이 요구되는 오일팬에 대하여 온간성형실험을 수행하여 적합한 온도조건을 찾음과 함께 성형성이 낮은 저급재료로도 제품생산이 가능함을 보였다. Kim^(7,8)등은 STS304 스테인리스 강판에 대한 상온 및 온간에서의 한게드로잉비를 원형용기와 사각용기를 중심으로 조사분석 하였으며, 이에 대한 최적 성형조건을 조사하였다. Choi⁽⁹⁾등은 온간성형공법을 이용하여 오일팬의 드로잉 공정을 2공정에서 1공정으로 단축시키는 금형을 개발한 바 있다.

성형한계도에 대한 개념은 Keeler와 Bachofen⁽¹⁰⁾에 의해 제시되었다. 그들은 2축인장에서의 판재의 파단을 연구하면서 성형한계도의 존재를 증명하였다. Goodwin⁽¹¹⁾은 여러 가지의 컵시험과 인장시험을 통하여 성형한계도를 전체 변형영역에 연장하였다. 이후, 이론연구에 의한 성형한계선의 계산결과들이 발표^(12~14)되었으며, 성형한계도를 이용하여 성형난이도를 평가하고 정량화시켜 자동차 차체의 개발에 활용한 사례가 있다.⁽¹⁵⁾

이러한 연구결과들을 분석하면, 온간성형법을 활용하는 방법을 소개한 내용이거나 인장강도 등의 단순 기계적 특성에 대한 온도의존성을 실험적으로 고찰한 내용 그리고 상온에서의 성형한계도에 관한 연구 등으로 분류할 수 있다. 따라서 이들 결과만으로는 온도변화가 큰 온간영역에서의 소성변형 특성을 충분히 나타내기에는 부족하다고 생각된다. 근래에 Lee와 Choi⁽¹⁶⁾가 자동차에 사용되는 박강판에 대하여 인장강도, 연신율을 포함하여 이방성계수 및 소성 유동곡선에 대해서는 온도별로 자료를 조사하여 발표하였는데, 이는 단축인장 시험을 온도별로 수행하여 얻어진 결과이며, 국부적 위치의 성형한계에 대한 특성은 아직 보고되지 않았다.

이러한 점에서 본 연구의 목적은 강판 소재를 사용하

여 온간성형법을 적용할 때, 소재의 성형성을 체계적으로 분석하여 효과적인 적용이 이루어질 수 있도록 성형한계 자료를 제공하는 것이다. 여러가지의 기초자료 중에서 소재의 국부적인 변형특성을 고찰하기 위한 온도별 성형한계도를 제공하는 것으로서 특히, 성형의 난이성(severity)이 높은 오일팬용 소재에 집중하여 연구를 수행하였다. 오일팬은 자동차부품 중에서 높은 디프드로잉 성형성이 요구되는 부품으로서 성형공정의 축소 및 품질향상을 위해 온간성형법을 적용하는 사례가 늘어나고 있으나, 이를 효과적으로 적용하기 위한 성형성 자료가 부족한 상태이다. 따라서 효과적으로 온간성형법을 적용하기 위해서는 국부냉각 또는 국부가열에 의해 변하는 소재의 온도에 따른 성형한계도의 연구가 필요하다.

본 연구에 사용된 시험재는 오일팬용으로 가장 많이 사용되는 재료로서, 두께가 1.4mm인 SCP1종 및 SCP3C종이다. 소재의 온도범위는 냉각과 가열의 실용적 범위의 한계를 고려하여 5°C~150°C로 하였으며, 각각의 재질과 온도에 대하여 개별적으로 성형한계도를 작성하여 온도에 따른 경향을 분석하였다.

2. 성형한계도 시험

2.1 시험재

본 연구에서 사용된 시험편의 재질은 KS D 3512의 SCP1종과 SCP3C종이다. 두께는 모두 1.4mm로서, 이 재료들은 자동차 엔진의 오일팬에 가장 많이 사용되는 것이다. Table 1에 적용된 시험편의 화학성분 및 기계적 성질을 나타내었다. 여기서 기계적 성질을 나타내는 데이터는 예비 인장시험을 통해 얻어진 것으로서 KS B 0801의 5호 규격에 의한 인장 시험편을 사용하였으며, 표점 거리는 50mm이고 폭은 25mm이다.

2.2 시험장치

Fig. 1은 본 연구에 사용된 재료시험기와 금형장치, 가열용 컨트롤러의 전경을 보여주고 있다. 성형한계도 시

험에는 재료시험기, FLD용 금형, 그리드마킹 장치, 변형률 측정자 등이 필요하다. 또한 본 연구는 저온에서부터 온간성형이 적용되는 범위까지의 재료특성을 조사하기 위한 것이므로 시편을 가열하여 어느 온도를 일정하게 유지할 수 있는 별도의 장치가 필요하다.

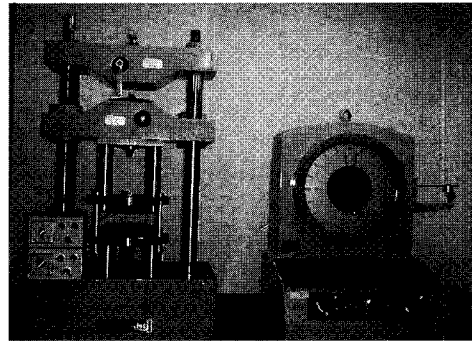


Fig. 1 Photo of experimental setup for FLD

시험에 사용된 시험기는 30톤 용량의 만능재료시험기로서 속도조절을 임의로 할 수 있다. Fig. 2는 본 연구에 사용된 스트레칭용 금형을 모식화시킨 그림이다. 금형은 상하 다이, 반구형 펀치, 덮개용 유리판, 관찰용 거울 등으로 구성되며 소재의 온도를 원하는 온도에서 유지시킬 수 있는 히터가 상하의 다이 및 펀치 속에 내장되어 있다. 상부의 다이는 크로스헤드에 장치되어 있으며, 상하의 다이 사이에 소재판을 장입하여 비이드를 형성할 수 있도록 하였다. 시험은 베드에 올려진 반구형 펀치를 위로 밀어 넣음으로써 수행된다. 펀치는 일반적으로 사용되는 형상으로서 4 inch의 직경을 채택하였으며 경질크롬 도금을 하였다. 상부 다이의 위에 덮여진 유리판은 소재판이 위치한 공간의 온도유지를 위해 밀폐시킴과 동시에 거울을 통하여 관찰이 용이하도록 설치한 것이다.

온도를 높이거나 유지하기 위해서 상하부 다이와 펀치 속에 카트리지형 히터를 삽입하였으며, 밀폐된 공간의

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of applied specimens

Material	Chemical composition (%)						Mechanical properties		
	C	Si	Mn	P	S	Al	Yield strength	Tensile strength	Elongation
SCP1	0.0030	TR	0.08	0.013	0.008	0.026	18.5 kgf/mm ²	30.5 kgf/mm ²	52.2 %
SCP3C	0.0020	TR	0.05	0.009	0.011	0.036	17.2 kgf/mm ²	28.3 kgf/mm ²	55.5 %

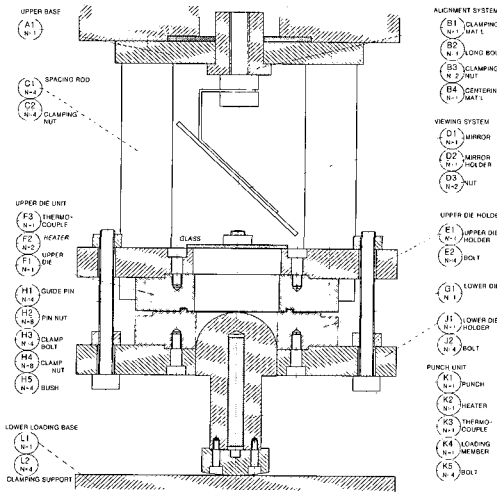


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

온도를 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 오차의 범위에서 일정하게 유지할 수 있도록 하였다. 그리드를 새기는 데는 전기화학적 부식법을 사용했다. 그리드를 새기는데는 Fig. 3과 같은 직경 0.1 inch의 원형 그리드 패턴을 사용하였다.

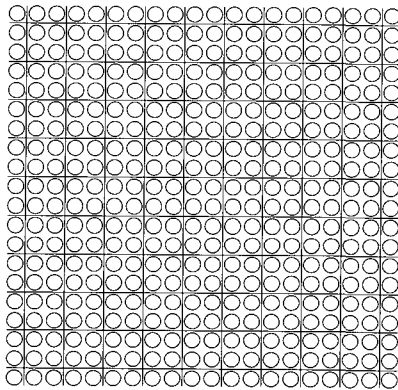


Fig. 3 Grid pattern with circular grid

2.3 시험방법 및 조건

성형한계도(FLD)에서는 보통 X축에 부변형률(minor strain)을 나타내고 Y축에는 주변형률(major strain)을 나타낸다. 판면의 주변형률은 항상 양(+)의 값을 가지며(신장변형), 부변형률은 음(-)의 값(수축변형)에서부터 양(+)의 값(신장변형)까지 다양하게 갖는다. 성형한계도에는 변형률의 크기와 파단의 발생여부를 기호로 나타내

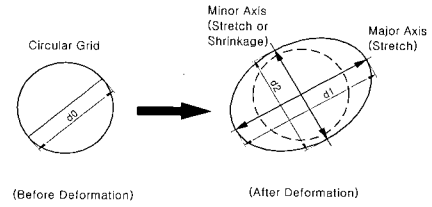


Fig. 4 Deformation of circular grid

고 있으며 파단의 발생영역과 안전영역을 경계짓는 성형한계선(FLC)을 도시함으로써 완성된다. 성형한계도는 반구형 펀치(hemi-spherical punch)에 의한 신장성형으로 시편을 성형하고 성형된 시편의 변형률을 위치마다 측정하여 도시함으로써 만들어지며 본 연구에서는 다음과 같은 순서로 시험을 수행하였다.

(a) 시험용 소재판에 원하는 형상(원형)의 그리드를 새겨 넣은 상태로 준비한다. 부변형률의 넓은 영역을 확보하기 위해 소재 폭을 여러 가지로 준비한다.

(b) 준비된 소재판을 반구형 펀치로 네킹(necking)이 발생할 때까지 스트래치 성형시킨다.

(c) 네킹이 발생한 주위의 그리드에 대하여 주변형률 및 부변형률을 측정하고, 각각의 그리드에 대하여 파단여부를 판정한다. Fig. 4에서와 같이 원형의 그리드가 장축과 단축을 가진 타원으로 변형하므로, 다음 식에 의해 공칭 주변형률 및 부변형률을 산출한다.

$$e_1 = \left(\frac{d_1 - d_0}{d_0} \right) \times 100 (\%) \quad (1)$$

$$e_2 = \left(\frac{d_2 - d_0}{d_0} \right) \times 100 (\%) \quad (2)$$

여기서 e_1 , e_2 는 장축과 단축에서의 주변형률과 부변형률을 나타낸다.

(d) 측정된 주 및 부변형률을 X-Y 평면상에 도시한다. 평면상의 좌표는 각각 부변형률과 주변형률의 크기로 나타내며, 각각의 파단여부를 기호로 나타낸다.

(e) 파단영역과 안전영역의 경계에 그려지는 임계선인 성형한계선을 그려 넣는다.

2.4 시험조건

시험 조건에 대해서는 시험온도, 시험편의 사이즈, 윤활조건에 대하여 검토하였다.

온간성형에서의 온도범위는 국부 냉각과 국부가열에 의한 소재의 온도변화를 포함해야 하므로 실용적 온도범위로 판단되는 5°C~150°C에 대하여 시험을 수행하였으며, 각각의 시험온도는 5°C, 25°C, 60°C, 90°C, 120°C, 150°C이다. 여기서 5°C와 25°C는 각각 저온과 상온의 의미를 갖는다.

변형률비의 다양성을 확보하기 위하여 다양한 시험편 사이즈를 적용하였다. 판재의 폭이 좁으면 부변형이 수축변형이 되며($e_2 < 0$), 판재의 폭을 넓게 하면 신장의 부변형률($e_2 > 0$)이 된다. 본 연구에 사용된 소재의 폭은 25mm, 50mm, 75mm, 100mm, 125mm, 130mm, 135mm, 150mm, 200mm 이다. 윤활에 있어서 기본적으로는 무윤활 조건을 적용하였으며 등2축 변형에 가까운 변형률비를 얻기 위해 일부 정사각형 시험편에 대하여는 마찰계수를 낮추기 위해 테프론 시트를 도포하는 방법으로 윤활 조건을 개선하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 5는 스트래치 성형된 시험편의 모습을 보여준다. 본 연구의 기본적인 결과물은 성형한계도로, 공칭변형률에 의한 성형한계도를 작성하였으며, 재료의 온도특성을 분석하기 위하여 이들을 온도별로 비교하였다.

Fig. 6 및 Fig. 7은 각각 SPC1종과 SCP3C종의 성형한계도를 보여준다. 그림에서 'x' 표시는 파단이 발생한 그리드를 나타내며 '△' 표시는 네킹이 시작하는 상태를 나타낸다. 'O' 표시는 네킹이 발생하기 이전의 것 즉, 안전성형된 상태를 표시한다. 이와 같이 각 위치마다의 변형상태를 주변형률 축 및 부변형률 축의 평면에 표시하였으며, 성형한계선은 파단과 안전성형의 임계선을 그려 나타냈다.

각 그림의 성형한계선에서 가장 아래에 위치한 부분 즉, 최저 한계주변형률이 존재하는 점을 극점(pole)이라 했을 때, 극점의 부변형률은 5%~10% 사이에 존재하며, 부변형률이 극점과 멀어질수록 한계 주 변형률이 증가하는 모습을 보이고 있다. 증가하는 경향에 있어서는, 극점의 왼쪽에서의 증가율이 오른쪽에서의 증가율보다 훨씬 큼을 알 수 있다. 이러한 현상을 고찰하면, 변형률비를 등2축(양축 신장)에 가깝도록 하거나 수축변형을 유도하면 성형한계를 높일 수 있으며, 특히 디프드로잉 등과 같이 플랜지가 수축하는 공정의 성형성이 우수함을 예측할 수 있다.

Fig. 8 및 Fig. 9는 각각 SCPI종과 SCP3C종에 대하여 성형한계선을 온도별로 비교하여 나타낸 그림이다. 이들 그림에서 보면, 성형한계선의 모양은 대체로 비슷하며, 전반적으로 온도가 낮을수록 성형한계선이 높게 위치해 있으며, 온도가 높아질수록 성형한계선의 위치가 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이는 강의 청열취성과 관계가 있는 것으로 판단되는 것으로, 국부적으로 온도가 높아지면 성형성이 불리함을 예측할 수 있다.

각각의 성형한계선의 모양이 비슷하므로 전체적인 경향을 분석하기 위하여 극점에서의 한계 주변형률(최저 한계주변형률)을 Fig. 10에 비교하여 나타내었다. 앞서 말한 바와 같이 온도가 상승하면 극점에서의 한계주변형률이 낮아지고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 성형한계도는 박판성형공정의 성형난이도(forming severity)를 평가하는 수단으로 활용된다. 급형을 제작하여 시험작업(try-out)을 할 때, 주어진 소재에 대하여 관심이 되는 부분에 원형의 그리드를 마킹하여 성형을 시킨 뒤, 각 그리드의 주 및 부 변형률을 측정하여 이를 성형한계도 상에 표시하고, 성형한계선과 비교함으로써 성형의 가부 및 성형난이성을 평가할 수 있다.

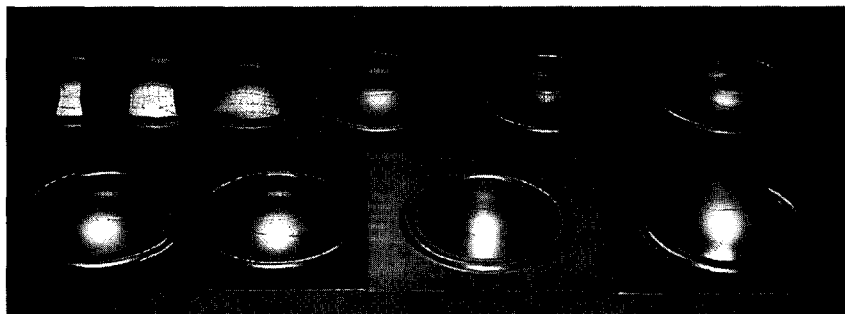


Fig. 5 Tested specimens with various width

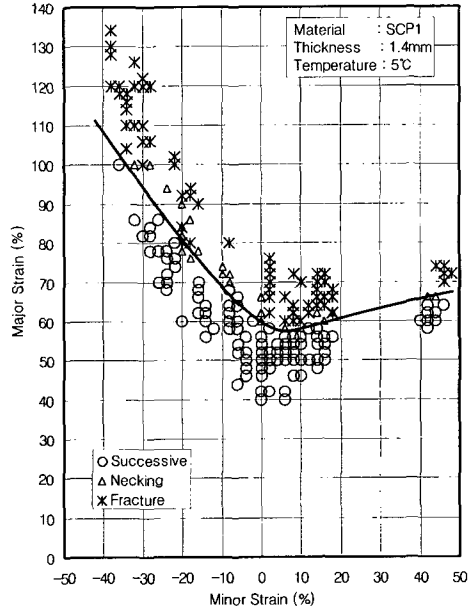


Fig. 6(a) Forming limit diagram of SCP1 at 5°C

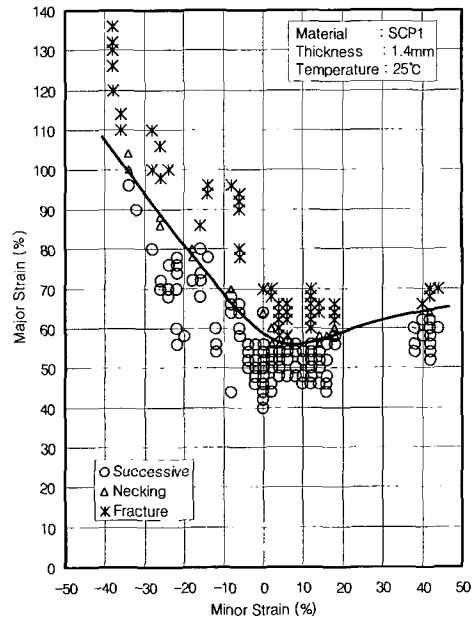


Fig. 6(b) Forming limit diagram of SCP1 at 25°C

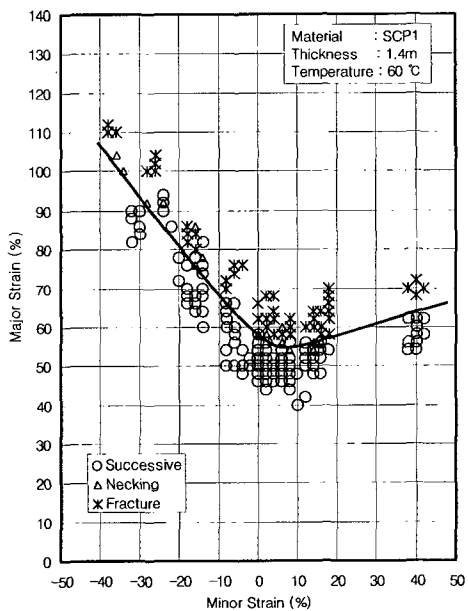


Fig. 6(c) Forming limit diagram of SCP1 at 60°C

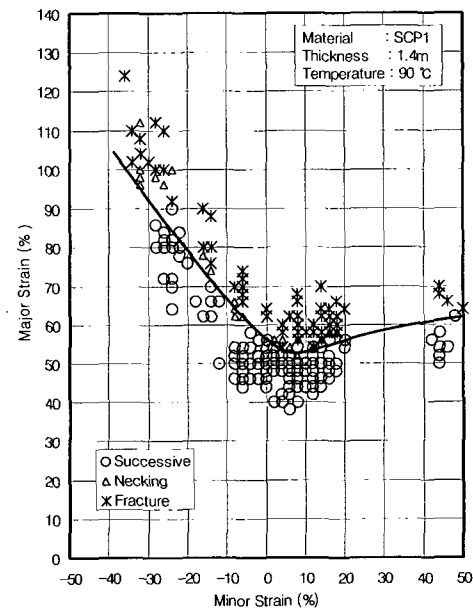


Fig. 6(d) Forming limit diagram of SCP1 at 90°C

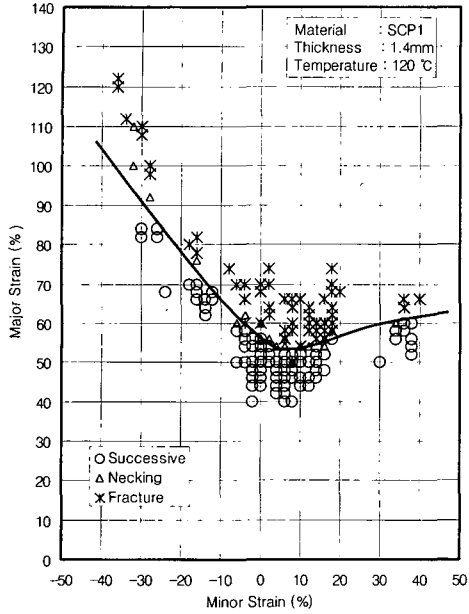


Fig. 6(e) Forming limit diagram of SCP1 at 120°C

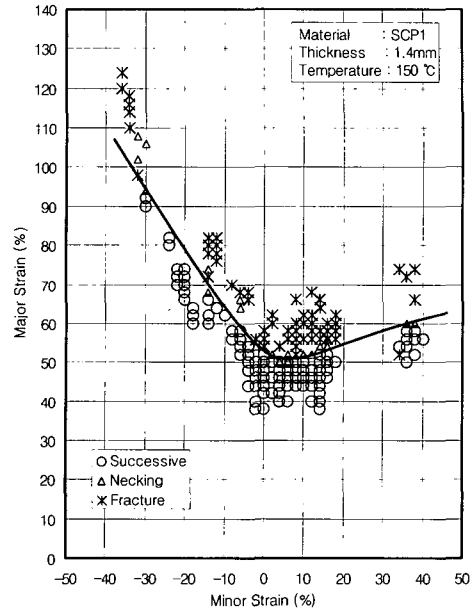


Fig. 6(f) Forming limit diagram of SCP1 at 150°C

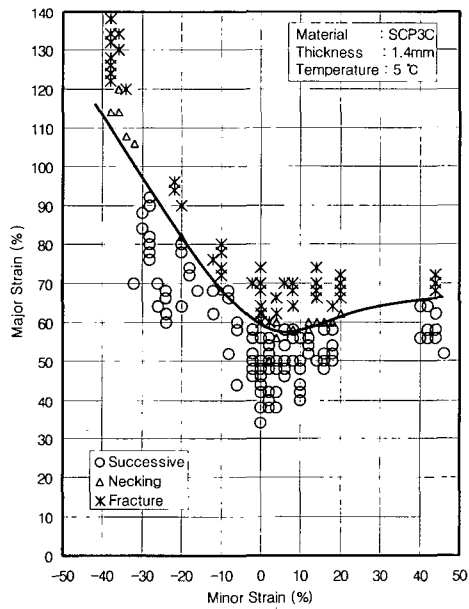


Fig. 7(a) Forming limit diagram of SCP3C at 5°C

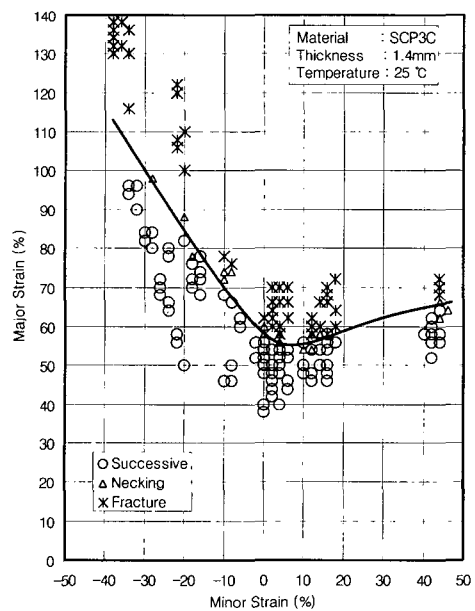


Fig. 7(b) Forming limit diagram of SCP3C at 25°C

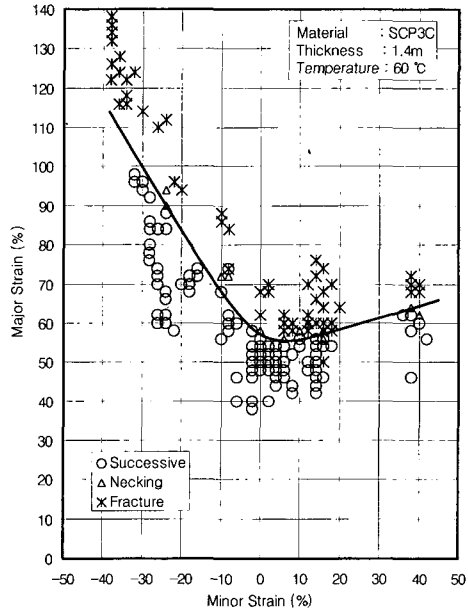


Fig. 7(c) Forming limit diagram of SCP3C at 60°C

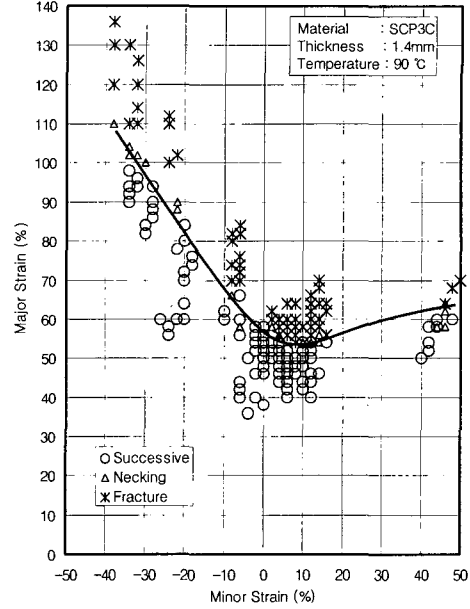


Fig. 7(d) Forming limit diagram of SCP3C at 90°C

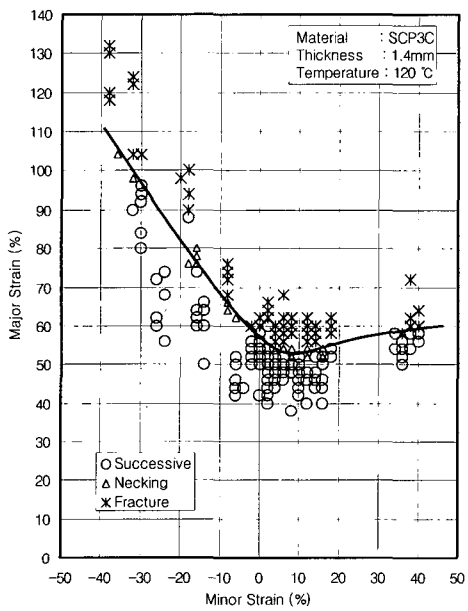


Fig. 7(e) Forming limit diagram of SCP3C at 120°C

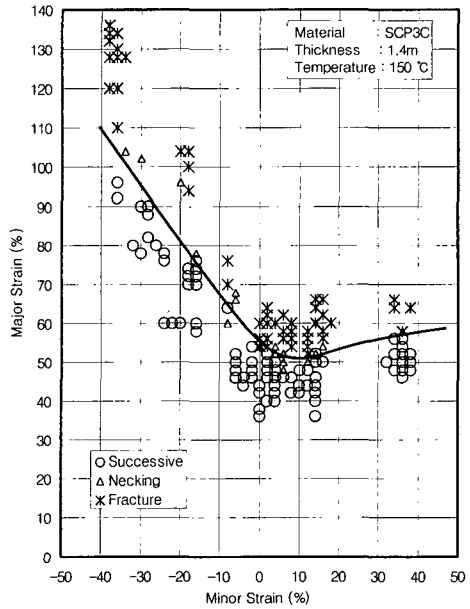


Fig. 7(f) Forming limit diagram of SCP3C at 150°C

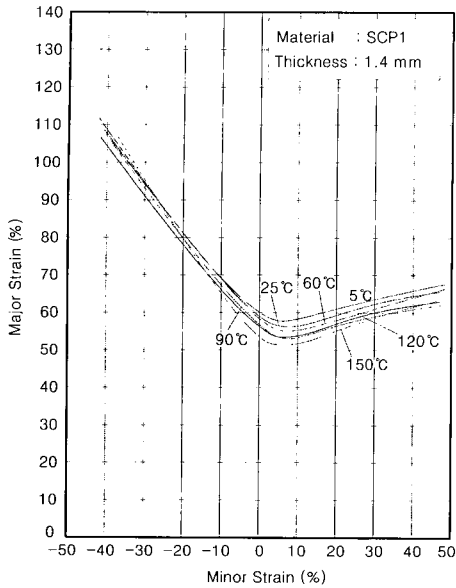


Fig. 8 Comparison of forming limit curves for SCP1 with respect to various temperature

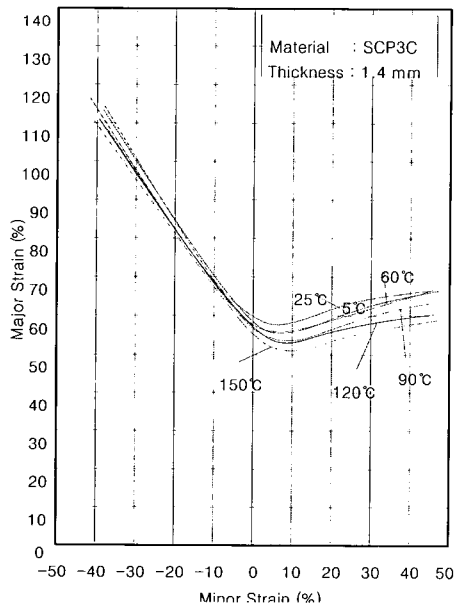


Fig. 9 Comparison of forming limit curves for SCP3C with respect to various temperature

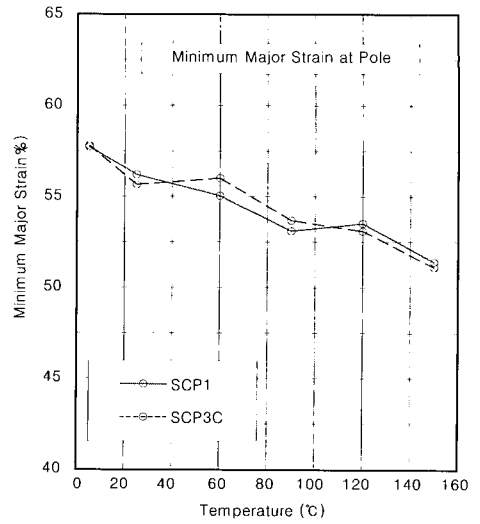


Fig. 10 The variation of minimum major strain of FLC along temperature

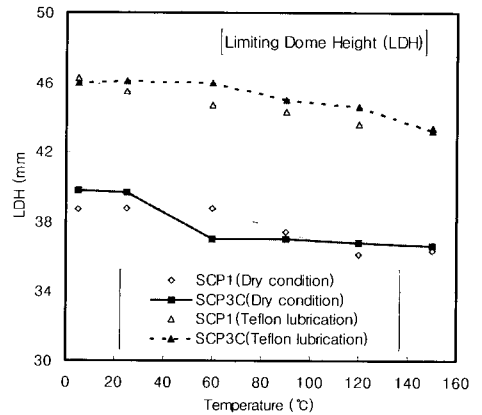


Fig. 11 The variation of LDH along temperature

표시된 주변형률이 성형한계선 위에 위치하면 파단을 의미하며, 성형한계선 아래쪽에 위치하더라도 성형한계선에 가까우면 파단의 위험이 존재하며 성형이 어렵다는 의미가 된다. 보통은 FLC보다 10% 정도 아래의 변형률 상태를 유지하는 것이 안전하며, 파단의 위험이 클 때에는 작업조건 개선 또는 재료의 변경, 금형 수정 등이 필요하다. 또한 근래에 많이 활용되고 있는 성형해석법에도 성형한계도를 활용하면 매우 유익하다. 성형해석에

서는 성형과정의 매 순간마다 변형률이 계산되므로 이때의 변형률을 FLC와 비교함으로써 공정에서의 문제점을 사전에 파악할 수 있다. 즉, 성형해석 중에 계산된 각 위치마다의 변형률을 성형한계도에 표시하고, 이를 가공한 계선과 비교함으로써 파단여부 및 성형난이성을 판단할 수 있다.

한편, LDH(limiting dome height)와 최고 성형하중에 대해서도 조사하였다. 파단 직전의 성형력을 최대성형력으로 취급하였으며, 성형품의 높이를 측정하여 이를 파단까지의 펀치행정(LDH)으로 취급하였다.

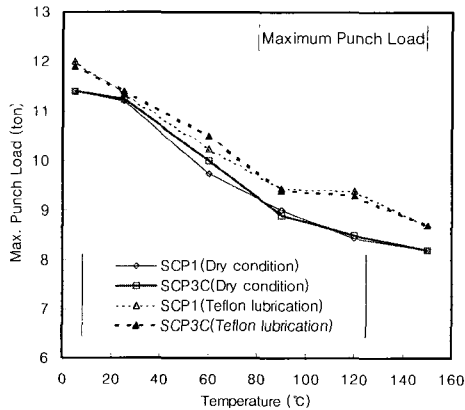


Fig. 12 The variation of maximum load along temperature

Fig. 11은 무윤활 상태 및 테프론 윤활조건에서의 LDH를 온도에 따라 나타낸 그림이다. 이 그림에서 보면, 전반적으로 시험온도가 높을수록 LDH의 값이 작아지는 것을 알 수 있다. 또한 재료별로 비교하면, SCP3C 종이 약간 높은 값을 보이나 온도에 의한 차이보다는 작다. 그리고 윤활에 따른 변화가 가장 큼을 알 수 있는데, 이로부터 마찰계수가 주는 영향이 큼을 알 수 있다.

Fig. 12는 무윤활 상태 및 테프론 윤활조건에서의 최대펀치력을 나타낸 그림이다. 이 그림으로부터 시험온도가 높을수록 최대펀치력이 낮아지며, 재질에 따른 변화는 거의 없음을 알 수 있다.

4. 결론

자동차용 오일팬에 사용되는 1.4mm 두께의 SCP1종과 SCP3C종의 온간성형을 위한 성형한계시험을 수행하여

성형한계도를 작성하였다. 국부냉각의 온도범위인 5°C의 저온에 대하여 시험을 수행하였으며, 상온영역인 25°C에 대하여도 시험을 수행하였다. 다이부분의 가열에 의한 온간영역으로서 60°C에서부터 150°C까지의 온도범위에 대하여 30°C 간격으로 시험을 수행하였다.

시험결과에서 온도의 변화에 따라 성형한계선의 위치가 변하고 있으나 그 모양은 비슷함을 알았다. 온도가 낮을수록 전반적으로 성형한계선의 위치가 높으며, 온도가 높아질수록 성형한계선의 위치가 낮아져서 성형성 측면에서 불리함을 예측할 수 있었다. 또한 대부분의 성형한계도에서 부변형률이 5~10% 사이에 있을 때 최저한계 주변형률이 존재함을 알았다.

LDH에 대해서 조사한 결과, 시험온도가 낮거나 윤활 상태가 좋을수록 LDH의 값이 높아지는 것을 알 수 있었다. 최대펀치력에서도 시험온도가 높을수록 최대펀치력이 낮아짐을 알 수 있었다.

온도가 변하게 되면 성형특성이 변하게 되며, 이는 제품성형시에 새로운 변수로 작용한다. 특히, 국부적으로 온도가 다른 각 위치마다의 성형특성이 서로 다르게 되므로, 강제로 온도편차를 발생시키는 온간성형법을 효과적으로 적용시키기 위해서는 온도별 성형한계 특성의 조사가 필요하며, 본 연구결과는 이에 유용하게 활용될 수 있으리라 생각된다. 금형의 시험작업(try-out)에서는 파단이 의심되는 부분의 변형률을 성형한계선과 비교함으로써 성형난이성을 정량화시키고 작업조건을 개선하는데 활용할 수 있으며, 성형해석의 활용에서는 성형과정의 매 순간마다 계산되는 변형률을 FLC와 비교함으로써 금형에서의 문제점을 사전에 파악하여 해결방안을 도출할 수 있으리라 생각된다.

참고 문헌

- (1) 渡部 豊臣, 後藤 隆夫, 鈴木 誠一, 1985, "ステンレスクラッド材の温筒絞り加工", 제36회 塑性加工聯合講演會, pp. 257~260.
- (2) 渡部 豊臣, 1992, "ステンレス鋼板の温筒絞り加工法", Journal of JSTP, Vol. 33, No. 375, pp. 396~403.
- (3) Ayres, R. A., 1985, "Thermal gradients, strain rate, and ductility in sheet tensile specimens", Metallurgical Transactions A, Vol.16A, pp. 37~43.
- (4) Ohwue, T., Takechi, H. and Furono, Y., 1987, "Temperature dependence of tensile properties and drawability of steel sheets in warm working"

- condition”, Journal of JSTP, Vol. 28, No. 314, pp. 225~231.
- (5) Ohwue, T., Takechi, H. and Furono, Y., 1987, “Deep drawability of square shells in warm working condition”, Journal of JSTP, Vol. 28, No. 318, pp. 706~711.
- (6) 松倉 孝典, 須藤 誠一, 大上 哲郎, 瀧田 道夫, 1990, “金型冷却による實機低温成形法の開発”, 소성가공춘계학술강연회, pp. 13~16.
- (7) Kim, J. H., Choi, C. S., Jeong, B. Y. and Lee, G. H., “Deep drawing of stainless steel in warm working condition using a single crank press”, Proc. 4th Int. Con. on Tech. of Plasticity, Beijing, China, pp. 1691~1694.
- (8) 김중호, 최치수, 나경환, 1995, “크랭크프레스와 유압프레스에서 스테인레스 강판의 온간드로잉성 비교”, 한국소성가공학회지, 제4권, 제3호, pp. 345~352.
- (9) 최치수, 최이천, 이종민, 오영근, 1999, “온간성형공법을 이용한 오일팬 드로잉 단축”, 한국소성가공학회 99추계학술대회 논문집, pp. 88~94.
- (10) Keeler, S. P. and Bachofen, W. A., 1963, “Plastic instability and fracture in sheets stretched over rigid punches”, Trans. ASM, Vol. 56, pp. 25~48.
- (11) Goodwin, G. M., 1968, “Application of strain analysis to sheet metal forming problems in press shop”, La Metallurgia Italiana, Vol.60, pp.767~774.
- (12) Sowerby, R and Duncan, J. L., 1971, “Failure in sheet metal in biaxial tension”, Int. J. Mech. Sci., Vol.13, pp. 217~229.
- (13) Lian, J. and Baudelet, B., 1987, “Forming limit diagram of sheet metal in the negative minor strain region”, Materials Science and Engineering., Vol.86, pp. 137~144.
- (14) Toh, C. H., 1989, “Prediction of the forming limit curves of sheet materials using the rigid-plastic finite element method”, Int. J. Mech. Sci., Vol.29, No.3, pp. 333~343.
- (15) 전기찬, 유동진, 이정우, 1989, “자동차 차체판넬의 개발에 있어서 변형측정법 및 성형한계도의 이용”, 한국자동차공학회지, Vol. 2, pp.7~13.
- (16) 이항수, 최치수, 1999, “박판의 온간상태에서의 인장 특성”, 한국소성가공학회 99추계학술대회 논문집, pp. 49~52.