

평면 변형 장출 시험법(PSST)을 이용한 프레스 라인에서의 성형 불량 예측

한수식, 박기철, 진조관
포항 제철 기술 연구소 박관 연구팀

A Prediction of Failure in the Stamping Line by Using the Plane Strain Stretch Test

Soo-Sik Han, Kee-Cheul Park, Jo-Kwan Jin
Sheet Products & Process Research Team, POSCO Technical Research LAB.

Abstract

The plane strain stretch test (PSST) developed by POSCO as an activity of customer service was applied to the establishment of the formability criteria and the prediction of failure during the stamping processes. The PSST was applied to the actual parts such as oil pan and shock mount and the criteria of PSST value for each forming parts were established. These value can provide the possibility of prediction of failure before the stamping process. These results show that the PSST can precisely predict the stamping formability of steel sheets.

Key Words : Formability, Plane Strain Stretch Test, PSST Value

1. 서론

판재의 성형성에 관한 연구의 궁극적인 목적인 주어진 스탬핑 공정에 대한 판재의 적정성 평가를 위해서 먼저 선행되어야 할 것은 판재의 성형성을 충분한 변별력을 갖고 평가할 수 있는 성형성 시험법이 갖추어지는 것이다. 그리고 다음으로 주어진 제품이 요구하는 성형성을 판단하는 기술이 필요하다. 평면 변형 장출시험법(PSST)은 이미 여러 연구 결과를 통하여 충분한 변별력을 갖춘 시험법의 하나로 판명되었다. 해당 성형 제품에 대한 필요 성형성에 관한 해석은 주로 실물성형을 통한 해석과 컴퓨터 성형 해석을 통하여 이루어지고 있다. 실물 성형을 통한 성형성 기준 평가란 여러 등급의 성형성을 갖는 판재를 실제로 생산에 사용될 금형에서 성형한 후 변형된 정도를 측정하고 비교 분석하여 적정 성형성을 찾아내는 방법이다.

본 연구에서는 현재 스탬핑 라인에서 생산되고 있는 몇 가지 자동차 패널에 대해 판재의 성형성 평가 방법중의 하나인 PSST를 이용하여 스탬핑 성형 제품에 대한 성형성 기준을 마련하고 이를 이용한 성형 불량 예측에 관한 연구를 수행하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 성형성 시험법

판재의 성형성 시험법으로 가장 널리 알려진 것으로는 성형한계선도(FLD)가 있다. 이 성형한계선도는 판면내에 존재하는 주변형률과 부변형률의 조합에 의해 판재의 두께 감소가 일어나는 영역에서 국부백이 발생하기 전까지 재료가 견딜 수 있는 한계 변형률을 나타낸 것으로서 판재의 성형성을 평가하고 스탬핑 라인의 성형 불량 원인 분석에 보다 과학적인 접근을 가능하게 하였다. 그러나 자동차용 냉연 강판의 대부분이 거의 유사한 형태의 성형한계선도를 갖고 있기 때문에 축적된 데이터로부터 구하여진 대표적인 성형한계선도를 이용하는 방법이 제안되어 널리 사용되고 있다.

판재의 전반적인 성형성은 성형한계선도에 의해 나타내지는 재료의 한계 변형 능력과 금형과의 접촉 마찰에 의해 발생하는 변형 집중의 억제 능력에 따라 결정된다. 따라서 성형한계선도만으로 실제 스탬핑 공정에서의 재료의 성형성을 정확히 평가할 수 없기 때문에 재료의 한계 변형 능력과 금형 접촉면에서의 균일 변형 능력에 의한 영향을 동시에 고려할 수 있는 Erichsen시험, Fukui시험, 한계돔높이시험등이 각각 널리 사용되고 있다. Ayres는 스탬핑 성형 불량률의 약 86%-90%가 부변형률이 $-0.1 < \epsilon_2 < 0.2$ 범위인 평면 변형 모드 근처에서 발생한다는 것에 주목하여 평면 변형 모드에 대응하는 폭에서의 최소 한계 돔높이를 스탬핑 성형성 평가 척도로 사용하였다.

2.2 평면 변형 장출 시험(PSST)

반구형 펀치를 이용한 돔장출 시험법은 판재의 성형성 판단에 있어서 매우 유용한 시험법이라 할 수 있으나 평면 변형 상태에서 판재의 파단 시험을 하기 위해서는 최적의 블랭크 폭을 구하는 시험이 선행되어야 한다. 그러나 최적의 블랭크 폭은 시험 조건에 따라서 달라지기 때문에 시험 조건이 바뀔 때마다 같은 작업을 반복해야 하는 어려움이 따른다. 이러한 돔장출 시험법의 문제점을 보완한 것이 바로 PSST 시험법이다. 이 시험법은 평면 변형 파단이 기하학적인 구속에 의해서 이루어지기 때문에 다른 성형 인자의 변화와는 상관없이 평면 변형 파단이 이루어진다. 그리고 평면 변형 발생 구간이 넓기 때문에 파단의 발생 시점 판단이 용이하여 시험 결과의 재현성이 우수하다. Fig. 1에 본 시험법의 금형 형상을 나타내었다. 본 시험법의 경우 Fig. 2에 나타난 바와 같이 부 변형률이 재료에 관계없이 시편 전면에 걸쳐 $\pm 3\%$ 범위내에서 거의 영인 값을 갖고 있어 평면 변형 상태가 유지되고 있음을 알 수 있다. 본 시험법은 특히 도금 강판과 같이 냉연 강판의 경우와 표면 마찰 상태가 크게 상이한 경우에도 동일한 시편 폭에 대해서 평면 변형 파단 조건을 얻을 수 있다.

3. PSST값을 이용한 가공 불량 예측

재질들의 성형 시험 결과가 동일하다면 적어도 그 재질들은 그 성형 시험법이 모사하는 성형 모드에 대해서는 동일한 성형성을 갖는다고 할 수 있다. 따라서 재질 규격이 다르더라도 PSST값이 같으면 이 두 재질은 PSST시험법이 모사하는 평면 변형 장출 모드의 성형에 대해서는 같은 성형성을 갖고 있다고 할 수 있다. 그리고 동일한

PSST값을 갖는 재질들에 대하여 다른 성형 모드 - 즉, 드로잉 모드와 이축인장 모드 -에서의 차이는 어떻게 나타나는지를 알아보기 위하여 PSST값이 거의 동일한 다른 규격의 판재에 대하여 한계드로잉비 시험과 이축인장 장출시험을 수행하였다. Table 1 에 시험에 사용된 재질들의 물성치와 PSST값 그리고 한계드로잉비와 반구형 펀치를 이용한 장출시험의 결과를 나타내었다. 이 시험 결과 유사한 PSST값을 갖는 재료들은 덩드로잉 성형성과 이축 인장에 의한 장출 성형성도 유사하게 나타났다.

성형 부품에 대한 필요 성형성 기준을 마련하는 방법으로는 크게 두 가지가 있다. 하나는 현재 그 제품의 생산에 사용되고 있는 판재들에 대해서 지속적으로 시편을 입수하여 성형 시험 결과와 프레스 가공 실적 등을 비교하여 기준치를 마련하는 것이다. Fig. 3은 본 방법에 의한 성형성 기준 마련의 예를 나타낸 것이다. PSST 성형 시험 결과와 프레스 가공 실적을 비교하여 보면 그 제품을 성형하는데 필요한 판재의 성형성을 쉽게 구할 수 있다. 이와 같은 방법으로 각 제품에 대하여 성형성 기준을 마련하는 것은 매우 정확한 성형성 판단 기준을 마련할 수 있으나 기준 마련을 위하여 너무 많은 시간이 소요된다는 단점이 있다. 그리고 다른 한가지 방법으로는 각각 성형성이 다른 여러 가지 종류의 판재를 준비하여 그 판재들을 동일한 프레스 작업 조건에서 성형을 실시해보는 것이다. 이러한 작업을 몇 번 반복하여서 프레스 가공 실적과 성형성 시험결과를 비교하면 그 부품에 대한 성형성 시험 기준 값을 마련할 수 있다. 이러한 방법을 몇가지 자동차부품에 대하여 적용한 결과를 Table 2에 나타내었다. 이와 같은 방법은 짧은 시간 안에 성형성 기준을 마련할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 기준의 신뢰성확보를 위해 시험을 일정한 기간을 두고 2~3회 반복할 필요가 있다.

4. 결 론

평면 변형하에서 판재의 장출 성형성을 평가할 수 있는 PSST시험 기술을 활용하기 위하여 스템핑 성형 제품에 대한 성형 불량 예측에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PSST시험 결과가 거의 동일한 재질들의 경우 다른 성형 모드를 갖는 시험법 - 이축 장출 성형 시험, 한계드로잉비 시험 - 등에서도 동일한 성형성을 나타내었다.
- 2) 성형 제품에 대한 설정된 PSST기준값과 성형에 사용될 판재의 PSST값을 비교 하므로써 성형 불량 발생을 사전에 예측할 수 있었다.
- 4) 따라서 PSST시험은 스템핑 공장 및 판재 제조 업체에서 스템핑용 소재에 대한 성형성 우열의 평가 및 성형 불량 원인 규명에 활용 가능함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. S. P. Keeler, 'Determination of forming limits in automotive stampings'. SAE. paper, No. 650535, 1965.
2. 최원집, 김영석, 남재복, 김기수, '자동차용 강판의 통계적 품질 관리 기술개발'. 산기연 연구결과보고서 No.82-0085A, 1991

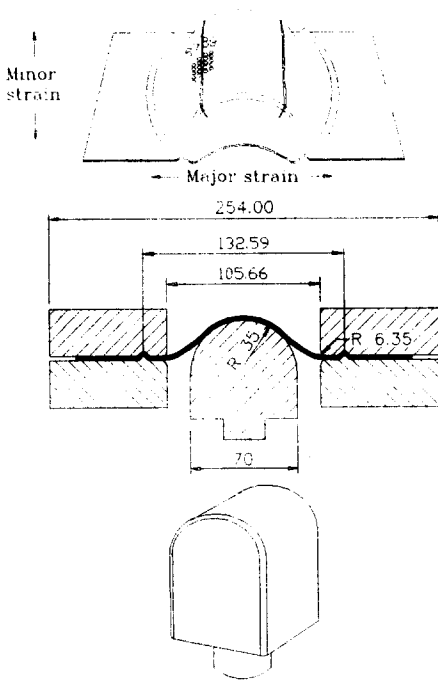


Fig. 1 Schematic diagram of PSST tooling

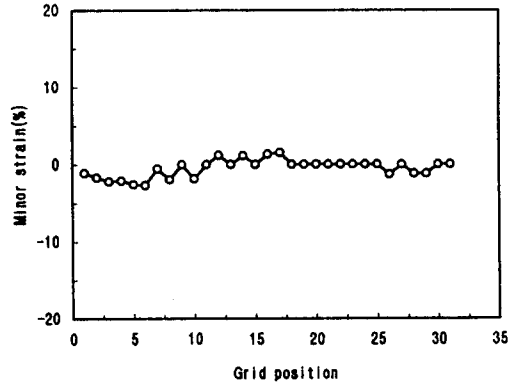


Fig. 2 Minor strain distribution on the PSST

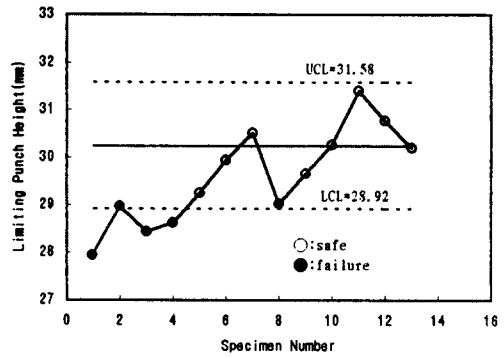


Fig. 3 Correlation of PSST value to press performance

재질	분류	YP	TS	EL (%)	r	n	PSST	LDR	LDH	마찰계수
DDQ	1	18.54	30.81	29.35	1.72	0.231	33.14	2.36	34.07	0.152
	2	16.85	33.35	45.99	1.92	0.246	34.36	2.36	34.33	0.150
EDDQ	1	16.79	29.35	44.05	1.95	0.237	33.65	2.4	34.50	0.154
	2	16.63	29.69	46.89	1.94	0.249	33.61	2.36	34.16	0.148
	3	12.88	28.18	47.92	2.07	0.264	34.05	2.36	34.89	0.149

Table 1 Comparison of PSST value with other TEST

재질	YP	TS	EL	r	n	PSST	마찰계수	실험 결과	
								Oilpan	S Mount
CQ	22.5	34.1	37.1	1.25	0.17	31.68	0.150	넉	실패
CQ	19.8	28.8	42.8	1.66	0.21	34.61	0.148	성공	성공
DQ	24.6	32.9	34.4	1.22	0.18	29.57	0.142	실패	실패
DQ	19.5	29.5	41.4	1.42	0.21	33.01	0.146	성공	넉
DDQ	19.0	29.2	42.1	1.70	0.22	34.00	0.145	성공	성공
EDDQ	18.0	28.3	43.4	1.66	0.23	34.81	0.147	성공	성공

Table 2 Correlation of PSST value to press performance