

자동차용 다상복합조직강판의 성형한계 평가

이승열¹ 정지용² 박성호³ 김상현³ 김영탁[#]

Evaluation of Forming Limits of Automotive Multi-phase Steel Sheets

S. Y. Lee, J. Y. Jeong, S. H. Park, S. Kim, Y. T. Keum

Abstract

In this study, in order to get the forming limit of AHSS sheet in the negative minor strain region, the shapes of die corner and drawbead are redesigned by employing the Taguchi's design of experiment method and the FEM forming simulation. With the redesigned FLD tool, the forming limit tests of automotive multi-phase(Dual Phase and Complex Phase) steel sheets which induce the normal fractures on the blank are performed.

Key Words : Forming Limit Diagram, Advanced High Strength Steel, Multi-phase Steel, Dual Phase Steel, Dome Stretching Test, Drawbead

1. 서론

최근 유럽이나 일본을 중심으로 초고강도강(AHSS)(Advanced High Strength Steel)을 자동차의 구조 부품(structural parts)에 적용하는 사례가 급속히 증가하고 있는 실정이다. 점점 더 엄격해지는 환경규제와 충돌 안정성에 대한 높은 기준을 만족시키기 위해서는 초고강도 강판의 차체에 활용은 차량의 경량화를 위해서도 필수적이다. 특히 차량무게의 30%정도를 차지하는 차체를 고강도 강판으로 대체하는 것은 효과적으로 경량화와 안정성을 확보하는 방법이다. 그러나 초고강도 강판은 상온에서 성형성이 나쁘고 성형한계의 평가도 어려운 것으로 알려져 있다. 초고강도 강판을 구조 부품뿐만 아니라 일부 외장재(exposed parts) 등으로 확대 적용하기 위해서는 신뢰성과 재현성이 있는 성형성 평가와 성형

한계의 도출이 요구된다.

냉연강판의 성형한계 평가에서 흔히 사용되고 있는 기존의 돔장출 금형(NUMISHEET '96 benchmarking tool)으로는 초고강도 강판의 성형한계의 평가가 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 특히, 음의 부변형률(minor strain)영역을 얻기 위한 성형한계 시험에서는 비드부 또는 다이 코너 반경부에서 파단이 일어나 정상적인 성형한계를 얻을 수 없다. 따라서 시편의 형상을 최적화하거나 돔장출 금형의 설계를 최적화하여 정상적인 파단, 즉 펀치와 블랭크의 접촉 경계 영역에서의 파단을 유도할 필요가 있다.

아직까지 다상복합조직강인 DP(Dual Phase)와 CP(Complex Phase) 등의 초고강도 강판의 성형한계를 정상적으로 평가하는 방법은 제시되지 않고 있는 실정이다. Andersson 등은[1] X형 다이를 제안하고 음의 부변형률 영역에서 성형한계들을

1. 피에프텍(Professional Forming Technology)

2. 한양대학교 일반대학원, 자동차공학과

3. POSCO 기술연구소

교신저자: 한양대학교 기계공학부, E-mail : ytkeum@hanyang.ac.kr

FLD 시험을 통해 구하였다. 그러나 이 방법은 양의 부변형률 영역에서는 실험할 수 없다는 단점이 있고 초고강도 강판에서는 FLC₀만 얻을 수 있으며, 다이 형상이 복잡하여 인장강도 980MPa 이상인 강판의 성형시험이 어려운 경향이 있다. Konieczny는[2] 자동차용 590 DP 및 780 DP 강판의 성형한계를 평가할 목적으로 돔장출 성형시험을 수행한 바 있다. 780 DP 강판의 시험에는 음의 부변형률 영역의 비정상적인 파단(비드부 파단)을 극복할 목적으로 시편의 폭이 25mm - 125mm인 영역은 Nakazima의 제안[3]을 따라 가공된 시편을 사용하였다. 이 방법은 음의 부변형률 영역의 시험을 위한 시편을 별도의 형상으로 기계가공을 하는 단점이 있고, 780 DP 강판에 대한 시험결과를 보면 평면변형 영역의 한계변형률(FLC₀)를 구할 수 없을 뿐만 아니라 음의 부변형률 영역이 매우 좁게(-10% 이내) 나타나는 문제점이 있다. 한편, Narayanasamy 등은 [4] 종래의 고강도강판에 해당되는 HSLA 강판의 성형한계를 평가했다.

본 연구에서는 초고강도 강판의 성형한계를 평가하기 위하여, 먼저 시험계획법과 성형해석을 토대로 돔장출 금형을 최적화하여 시편의 정상적인 파단에 의한 시험을 수행할 수 있도록 하였고, 돔장출 금형을 제작하였다. 제작된 금형에서 다상복합조직강에 해당되는 3종류의 DP 및 CP 강판의 돔장출 시험을 수행하여 실험적인 성형한계도를 얻고 평가하였다.

2. 돔장출 금형 설계

본 연구에서는 비드부나 다이코너 반경부의 비정상적인 파단을 피하고 초고강도 강판의 성형한계를 성공적으로 얻을 수 있는 금형형상을 설계하기 위하여 다투찌법을 이용하여 실험 계획을 수립하고[5] 유한요소 해석을 수행하였다.

Fig. 1 은 돔장출 금형에서 드로우비드부 형상의 설계 변수를 표시한다. 설계변수로는 다이 코너 반경 Rd, 비드부 어깨 반경 Rb, 비드 폭 W, 그리고 비드 높이 H 를 설정하였다. 다투찌법으로 실험을 계획하기 위하여 Rd 와 Rb 를 4 수준, W 와 H 를 2 수준으로 설정하였다(Table 1 참조).

한 종류의 시편 폭에 대한 성형시험의 건전성을 평가하기 위해서 직교배열법으로 실험계획표를 작성하고 16 회의 실험을 수행하는 대신에

유한요소 성형해석 소프트웨어(PAM-STAMP)를 이용하여 돔장출 시험을 전산 모사하였다. 시편 폭의 차이에서 발생하는 영향을 고려할 목적으로 폭이 75mm 와 100mm 에 대해 각각 16 회씩 합계 32 회의 전산모사를 수행하였다. 비드부와 다이 코너에서의 최대 변형률과 드로우인을 실험해석의 특성치로 정하였다. Table 2 는 각 실험해석의 반응 특성치들 이다. 망소 특성을 적용하여 각 반응 특성치의 최소값을 최적의 값으로 취하고 얻은 최적의 설계변수 값들은 Fig. 2 와 같다. 각 그래프에서 S/N 비가 가장 큰 값이 설계변수의 최적값으로, Rd, Rb, H 는 각각 7mm, 4.5mm, 3mm 로 도출되었고, W 는 6mm 과 7mm 가 거의 같았다. Fig. 3 은 얻어진 최적 설계변수를 적용한 초고강도 강판의 FLD 시험용 돔장출 금형의 최종 형상이다.

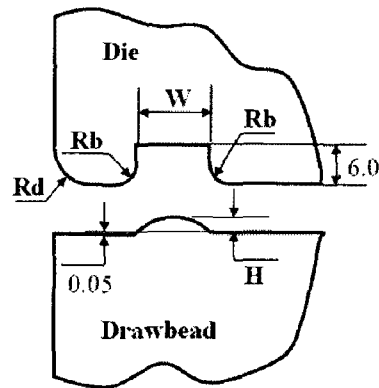


Fig. 1 Design variables in Taguchi method

Table 1 Experiments designed in Taguchi method

Exp. No.	Variable			
	Rd (mm)	Rb (mm)	H (mm)	W (mm)
1	6.5	3.5	3	6
2	6.5	4.0	3	6
3	6.5	4.5	4	7
4	6.5	5.0	4	7
5	7.0	3.5	3	7
6	7.0	4.0	3	7
7	7.0	4.5	4	6
8	7.0	5.0	4	6
9	7.5	3.5	4	6
10	7.5	4.0	4	6
11	7.5	4.5	3	7
12	7.5	5.0	3	7
13	8.0	3.5	4	7
14	8.0	4.0	4	7
15	8.0	4.5	3	6
16	8.0	5.0	3	6

Table 2 Response characteristics of the experiments

Specimen Dim.	200mmL×75mmW			200mmL×100mmW			SN ratio
	Bead Strain	Die Radius Strain	Draw-in	Bead Strain	Die Radius Strain	Draw-in	
1	0.273	0.277	0.06	0.130	0.277	0.09	13.687
2	0.268	0.256	0.06	0.104	0.230	0.08	14.546
3	0.280	0.251	0.06	0.104	0.225	0.10	14.429
4	0.283	0.237	0.10	0.084	0.198	0.11	14.672
5	0.298	0.277	0.06	0.106	0.251	0.08	13.810
6	0.258	0.248	0.06	0.079	0.216	0.10	14.890
7	0.293	0.251	0.06	0.112	0.228	0.08	14.284
8	0.270	0.254	0.08	0.090	0.221	0.09	14.581
9	0.336	0.264	0.10	0.154	0.307	0.12	12.662
10	0.301	0.267	0.06	0.120	0.274	0.06	13.664
11	0.250	0.259	0.08	0.065	0.193	0.12	14.946
12	0.214	0.245	0.16	0.052	0.186	0.31	13.553
13	0.314	0.269	0.06	0.126	0.306	0.12	13.038
14	0.287	0.271	0.06	0.082	0.245	0.08	14.120
15	0.261	0.280	0.10	0.063	0.217	0.10	14.360
16	0.238	0.256	0.10	0.049	0.195	0.11	15.116

3. 성형한계 시험 및 검토

다구찌법으로 구한 최적형상의 금형으로 다상복합조직강에 해당하는 초고강도 강판의 성형한계를 실험하였다. 변형률을 측정하기 위해 시편에 2mm 의 사각 그리드를 전기화학적으로 에칭하였다. 돔장출 시험에서 블랭크홀딩력은 블랭크의 유입을 방지하기 위하여 50ton 을 적용하였고, 시험속도는 모두 80mm/min 를 적용하였다. 실험에 사용된 다상복합조직강의 물성은 Table 3 과 같다. 시편의 두께는 모두 1.2mm 이다.

시험에 사용된 시편의 폭은 25, 45, 80, 100, 110, 125, 135, 200mm 로 하였다. 시편의 폭이 200mm 인 경우에는 등이축 인장에 가까운 조건을 얻기 위해 무윤활 조건과 윤활(grease + urethane) 조건에서 각각 실험이 수행되었다. 모든 시험으로부터 음의 부변형률 영역에서 정상적인 파단을 보였다. 변형률 측정에는 GPA-100 이 사용되었다.

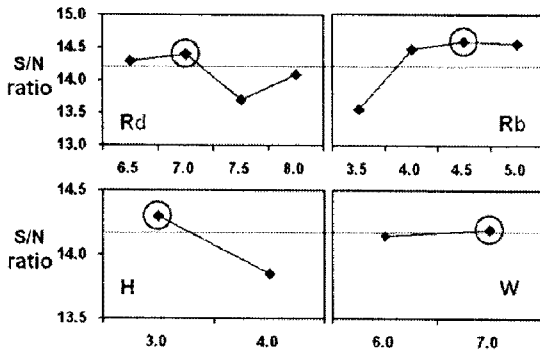


Fig. 2 Optima of design variables(circles) and means of SN ratios(dotted lines)

Table 3 Material properties of AHSS sheets

AHSS Sheet	YS (MPa)	TS (MPa)	T-EI (%)	U-EI (%)	n	E (GPa)
780 DP	476.1	737.7	24.8	15.6	0.16	194.4
980 DP	806.4	1020.7	9.3	4.8	0.09	200.3
1180 CP	1014.9	1211.3	7.4	4.2	0.06	197.4

Fig. 4 와 Fig. 5 는 780 DP 강판의 성형된 시편과 측정된 FLD 를 대표적으로 나타낸 것이다. Fig. 6 은 실험적으로 얻어진 강종별 FLD 를 비교한 것이다. 980 DP 와 1180 CP 의 경우에는 적은 연신율로 인해 음의 부변형률은 10% 이하의 영역에서만 FLC 를 구할 수 있었다.

DP 강판은 폭이 200mm 인 경우에 윤활 조건의 시험과 무윤활 조건의 시험이 유사한 주변형률 분포를 보였다. 이로 인해 양의 부변형률 영역에서 구부러진 형상의 FLC 가 얻어졌다. 780 DP 강판의 FLCo 는 29.6% strain 으로 측정되었고, 980 DP 강판은 FLCo 는 14.9% strain 으로 측정되었다. 780 DP 시험에서는 변형모드는 부변형률이 -19.1%인 단축인장 영역에서 37.9%인 이축인장 영역까지 비교적 넓게 얻어졌고, 980 DP 시험에서는 부변형률이 -8.7%인 단축인장 영역에서 39.0%인 이축인장 영역까지 강도 수준에 비해 매우 넓게 얻어졌다. 1180 CP 강판의 측정된 FLCo 는 9.5% strain 이었다. 1180 CP 시험에서 변형모드는 부변형률이 -8.6%인 단축인장 영역에

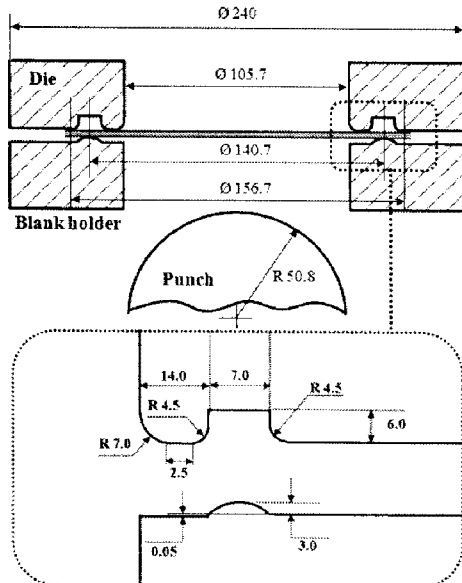


Fig. 3 Optimal tool for FLD test of AHSS sheet

서 22.4%인 이축인장 영역까지 매우 좁게 얻어졌다.

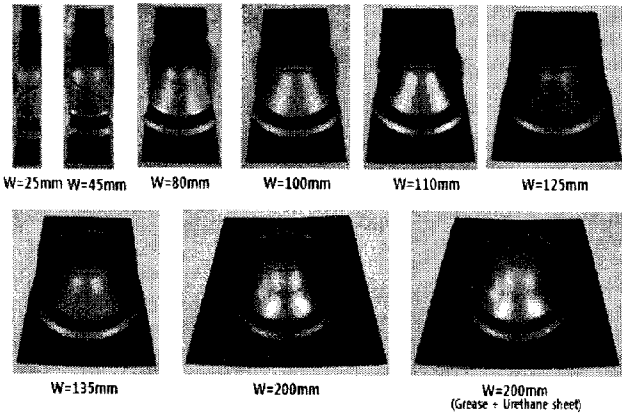


Fig. 4 Formed FLD specimens of 780DP sheet with normal fractures

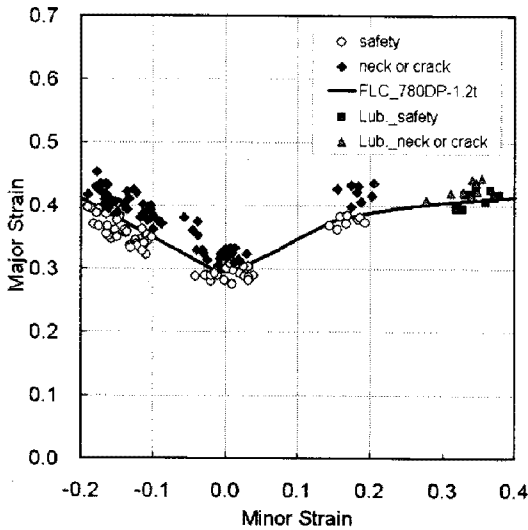


Fig. 5 Experimental FLD of 780 DP sheet

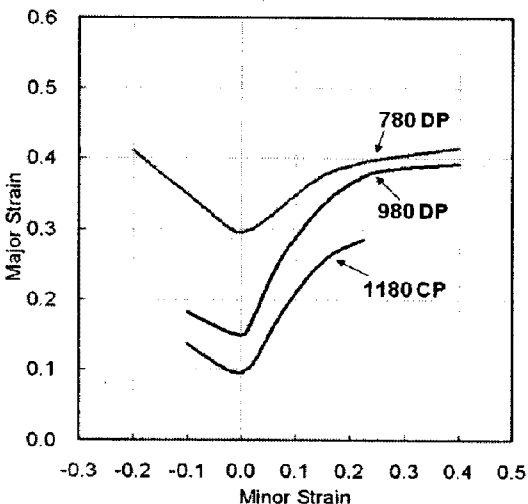


Fig. 6 Experimental FLCs of various AHSS sheets.

4. 결론

초고강도강의 성형한계 평가에 있어서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 다투지법의 실험계획에 의한 유한요소 해석을 통해 초고강도 강판의 성형한계 시험용 금형형상을 설계하고 음의 부변형률 영역에서 정상적으로 파단됨을 검증하였다.

(2) 설계된 금형으로 FLD 시험을 수행하여 자동차용 다상복합조직강의 비정상적인 파단 없이 성공적인 성형한계도를 얻을 수 있었다.

(3) 980 DP와 1180 CP 강에서는 낮은 연신율로 인하여 10% 이하인 음의 부변형률 영역의 성형한계만 얻을 수 있었다.

후기

이 연구는 POSCO 기술연구소의 지원에 의하여 이루어졌으며, 관계자 제위께 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] A. Andersson, P. Thilderkvist, M. Liljengren, 2008, Experimental evaluation of strains in the tension-compression using a new tool geometry X-Die, J of Mater. Processing Tech., 200, pp.1-11
- [2] A. A. Konieczny, 2001, On Formability Assessment of the Automotive Dual Phase Steels, IBEC, 2001-01-3075, pp.1023-1028
- [3] H. Nakazima, 1969, Effect of Strain Path on Fracture Strain(in Japanese), Proc. Conf. on Techn. of Sheet Steel Forming, pp.85-97
- [4] R. Narayanasamy, C. Sathiya Narayanan, 2006, Some aspects on fracture limit diagram developed for different steel sheets, Mater. Sci. & Eng., A417, pp.197-224
- [5] D. H. Wu, Y. J. Tsai, Y. T. Yen, 2003, Robust design of quartz crystal microbalance using finite element and Taguchi method, Sensors and Actuators B, 92, pp.337-344