

980MPa급 초고장력 강판의 자동차 프론트 사이드 멤버 부품 성형에 관한 연구

차승훈¹ · 이상곤² · 고대철³ · 김병민[#]

A Study on the Forming of Automotive Front Side Member Part with Ultra High Strength Steel of DP980

C. H. Cha, S. K. Lee, D. C. Ko, B. M. Kim

(Received October 17, 2008)

Abstract

This paper is concerned with forming technology of an automotive front side member part with ultra high strength steel sheet of DP980. The forming technology considered in this paper is the draw & form type, which installs the upper pad and lower pad to produce the complicated shape of ultra high strength steel sheet. In order to produce sound product, comparison between form type and draw & form type and between draw type and draw & form type are investigated by FE-analysis. FE-analysis is carried out with commercial sheet metal forming analysis S/W, DYNAFORM. It was shown from FE-analysis that the draw & form type satisfied the required specifications such as the dimensional accuracy and soundness of automotive front side member part. The effectiveness of the analytical result was verified by the experiment. From this investigation, the draw & form type is proved to be able to supply useful forming technology in forming ultra high strength steel.

Key Words : DP980, Draw & Form Type, FE-analysis, Front Side Member Part

1. 서론

현대 산업에 폭넓게 사용되고 있는 박판 성형 공정은 금속 판재를 이용하여 다양하고, 비교적 복잡한 형상의 제품을 제조하는 공정으로써 저렴한 소재의 사용, 성형된 제품의 높은 강도 및 대량 생산성 등의 큰 장점을 가지고 있다. 하지만, 대부분의 성형품은 제조 공정 중에 큰 소성변형을 수반하게 되어 판재의 파단 및 주름과 형상불량 등의 결함이 발생한다.

지금까지 인장강도 500MPa 이하의 소재를 이용한 자동차의 구조부재에 대한 성형 공정의 연구는 많이 수행되었다. Kim[1] 등은 차량용 부재의

금형 설계 시 유한요소해석을 활용하여 짧은 시간에 성형공정의 기본적 문제를 파악하고 개선안을 제시할 수 있는 해석 프로세스를 개발하였다. Song[2] 등은 박판 성형의 주요 변수인 블랭크 홀딩력(Blank holding force), 블랭크 형상, 드로우비드(Draw-bead)의 영향을 평가하여 복잡한 자동차 부품 제작에 활용하였다. Park[3] 등은 형상 비드의 경우 해석하는데 많은 계산시간이 소요되기 때문에 이를 해결하기 위하여 등가 드로우비드 모델을 이용한 유한요소 해석을 하였으며, 이를 프론트 도어 판넬에 적용하였다. Ko[4] 등은 실제 산업 현장에서 사용되는 차체 판넬 성형 공정의 유한요소해석을 통해 최적의 재질을 선택하고, 재질 변경으로 해결되지 않는 문제를 해결하기 위한

1. 부산대 대학원 정밀가공시스템

2. 부산대-IFAM 국제공동연구소

3. 부산대 ILIC

교신저자: 부산대 기계공학부, E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

새로운 공법을 개발하였다.

현재까지 수행된 대부분의 연구를 인장강도 700MPa 이상의 초고강력 강판을 자동차 부재에 적용할 경우 초고강력 강판의 낮은 성형성으로 인해 성형 중에 파단 혹은 과도한 주름이 쉽게 발생할 뿐만 아니라, 가공 후에도 지나친 스프링백(Springback) 및 과도한 잔류응력에 의한 제품의 뒤틀림이 심하게 발생하여 제품의 치수 정도 확보가 상당히 어렵다[5].

본 연구의 목적은 인장강도 980MPa 급 초고강력 강판의 자동차 프런트 사이드 멤버 부품을 생산하기 위한 성형공정을 개발하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 폼타입(Form type), 드로우타입(Draw type), 드로우앤폼타입(Draw & form type)에 대한 성형해석을 통해 제품에 파단, 주름 및 지나친 스프링백 등의 결함이 발생하지 않는 공정 변수를 설정하고 성형 공정을 설계하였다. 또한, 시작품 제작을 통해 제시된 성형공정의 타당성을 검증하였다.

2. 프런트 사이드 멤버 부품의 성형해석

2.1 적용강판의 물성치 평가

본 논문에서 적용한 자동차 프런트 사이드 멤버 부품을 Fig. 1에 나타내었으며, A-A', B-B', C-C', D-D', E-E'는 제품의 단면을 나타내었다. 본 제품은 설계자의 판단에 의해 규정된, 검사규격서에 나와있는 플랜지부의 조립 공차는 ±0.5mm이다.

Table 1에는 성형해석 시 적용된 인장강도 980MPa 강판의 방향별 인장물성치 및 이방성 계수를 나타내었다.

Fig. 2에 본 논문에서 사용한 성형한계 곡선(Forming limit curve)을 나타내었다. 성형한계 곡선은 FLC_0 를 기준으로 작성하였고, FLC_0 는 다음의 식(1)을 이용하였다[6]. 두께 2mm의 DP980 소재에 대한 FLC_0 는 약 24%로 나타내었다.

$$FLC_0 = (n/0.21)(23.3 + 14.1 * t) \quad (1)$$

여기서 n은 가공경화지수(Work-hardening exponent)이고, t는 소재의 두께이다.

2.2 성형해석 모델 및 조건

본 연구에서는 일반적으로 판재 성형에 적용되는 3가지 유형의 성형기술에 대하여 성형해석을

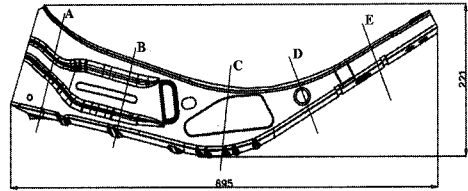


Fig. 1 (a) Configuration and (b) Section view of automotive front side member part

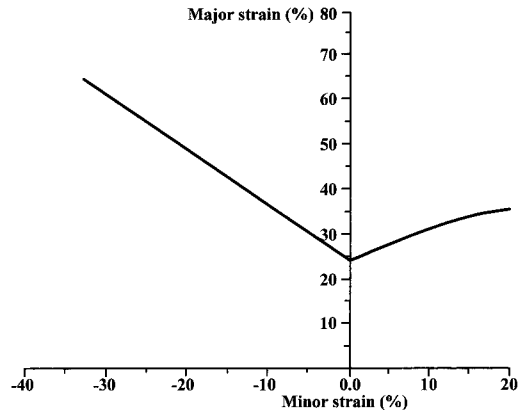


Fig. 2 Forming limit curve for DP980 of 2t

Table 1 Result of tensile test for DP980 of 2t

Items	0°	45°	90°
Yield strength (MPa)	755	771	721
Tensile strength (MPa)	1016	1056	992
Stiffness coefficient (MPa)	1432	1495	1409
Elongation (%)	15	17	13
Work-hardening exponent	0.1	0.11	0.11
Lankford value	0.61	0.83	1.08

수행하였다. 성형해석은 판재 전용 유한요소 해석 프로그램인 eta/DYNAFORM을 이용하였다[7].

성형해석을 위한 유한요소해석 모델은 Fig. 3와 같다.

폼타입은 Fig. 3(a)와 같이 상형패드(Upper pad)를 설치한 형태로 플랜지부의 좌굴에 의해 과도한

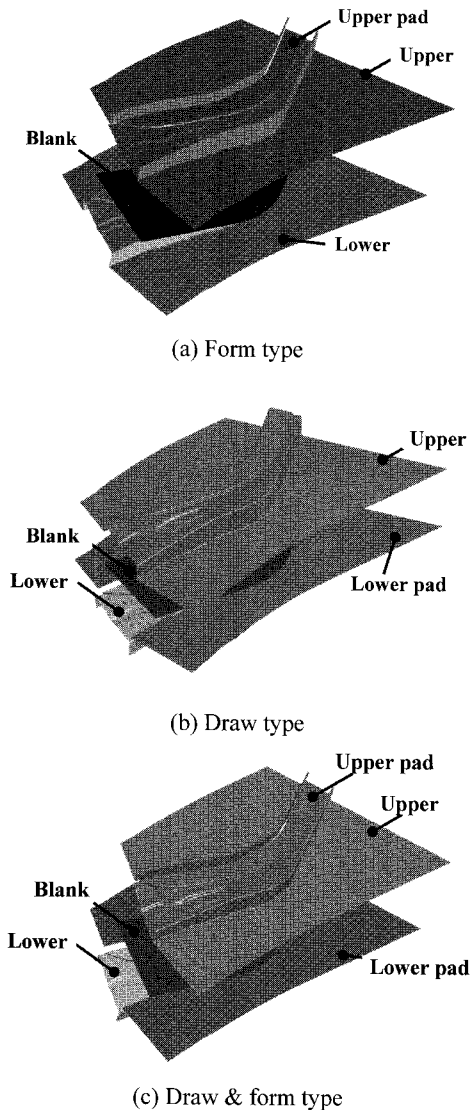


Fig. 3 FE-modeling of forming process for automotive front side member part

주름이 발생하는 단점이 있다. 드로우타입은 (Fig. 3(b))과 같이 플랜지부의 재료 압축영역에서 좌굴을 방지하기 위하여 하형 패드(Lower pad)를 설치한 형태로 일반적인 성형공정에서 주로 사용되어 왔다. 그러나 트림밍 공정 시 지나친 스크랩 발생으로 인해 소재 손실이 증가하고, 초고장력 강판의 제품 제작 시 스프링백으로 인해 치수 확보가 어려운 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 Fig. 3(c)와 같이 혼합형인 드로우앤폼타입이 적용되고 있다. 상형 패드와 하형 패드를 설치한 형태로 복

Table 2 Process conditions for FE-analysis

Simulation conditions	Value
Blank material	DP980
Blank thickness (mm)	2.0
Friction coefficient (μ)	0.13
UPR. pad force (ton)	8.0
LWR. pad force (ton)	40.0

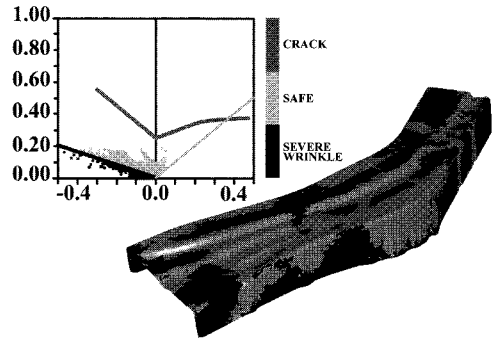


Fig. 4 FE-analysis result for forming process of Form type

잡한 기하학적 형상의 초고장력 강판 부품 제작 시 트림밍 공정의 생략이 가능하여 소재 손실을 줄일 수 있으며, 바닥 면의 주름 발생 및 가공 후에 발생하는 스프링백을 줄일 수 있다[8].

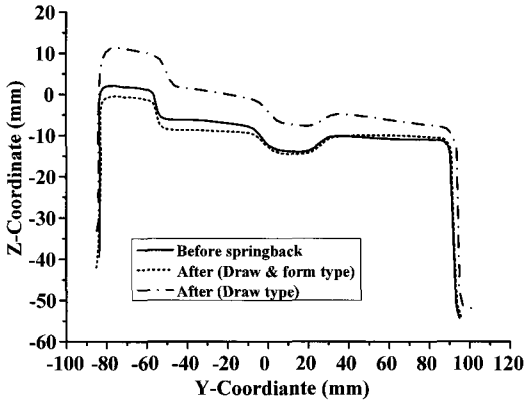
본 연구에서 적용한 자동차 프런트 사이드 멤버 부품의 성형해석을 위한 공정 조건은 Table 2와 같다.

2.4 성형해석 결과 및 고찰

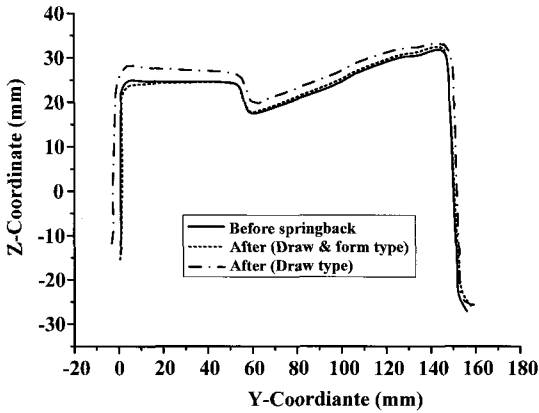
앞 절에서 제시된 성형기술에 대하여 성형해석을 수행하였다.

Fig. 4와 같이 폼타입의 경우 과도한 주름이 발생한다는 것을 알 수 있다. 이는 성형 과정 중에 과도한 재료의 유입으로 인해 인장력이 부족하기 때문이다. Fig. 5와 같이 A-A', C-C' 단면의 스프링백 해석 결과, 드로우타입은 과도한 스프링백이 발생한다는 것을 알 수 있다. 이는 바인딩(Binding) 이후 하사점에서의 성형 과정에서 제품에 대한 구속력이 부족하기 때문이다.

이를 해결하기 위하여 상형패드와 하형 패드를 추가적으로 설치한 드로우앤폼타입을 적용하였다. 드로우앤폼타입을 적용할 경우 Fig. 5와 같이 드로우타입에 비해 스프링백이 줄어드는 것을 알



(a) Section A-A'



(b) Section C-C'

Fig. 5 Comparison of the deformed shape before and after springback

수 있다. 그러나 Fig. 6 과 같이 좌측 상단부에 미소 크랙이 발생하였고, 넓은 부위에 걸쳐서 주름이 발생하였다. 이를 해결하기 위하여 블랭크 형상과 상,하형 패드력 수정이 필요하다.

3. 드로우앤폼타입의 블랭크 형상 및 상·하형 패드력에 따른 영향 평가

3.1 블랭크 형상에 따른 영향 평가

드로우앤폼타입에 대하여 현장경험자의 노하우에 의해 설정된 초기 블랭크 형상과 이를 기초로 수정된 블랭크 형상에 대한 해석을 수행하였다. Fig. 6 과 같이 좌측 상단부에 미소 크랙이 발생하였으며, 이는 블랭크의 크기가 커서 소재 플랜지

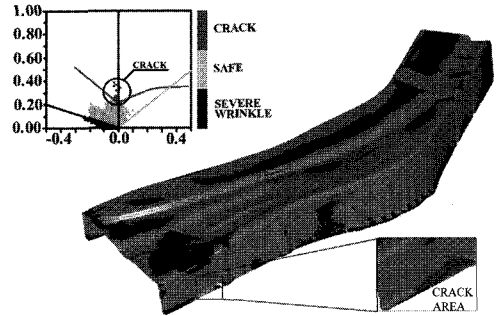


Fig. 6 FE-analysis result for forming process of Draw & form type

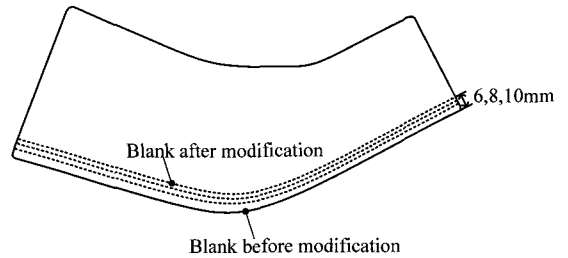


Fig. 7 Blank shape before and after modification

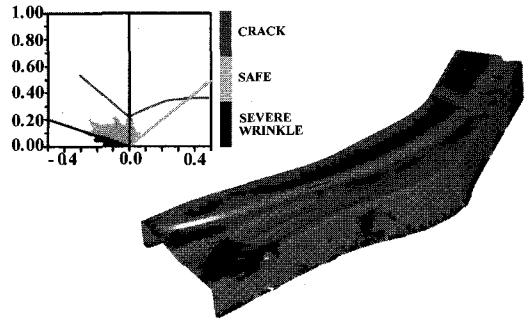


Fig. 8 FE-analysis result for forming process according to modified blank shape of 10mm

부의 마찰이 증가하여 인장력이 증가하였기 때문이다.

따라서, 본 연구에서는 제품의 트림라인을 고려하여 파단이 발생하는 부분의 블랭크를 일정하게 6, 8, 10mm 씩 줄여서 성형해석을 수행하였다. Fig. 7 에 수정 전, 후의 블랭크 형상을 나타내었다.

성형해석 결과 3 가지 모두 파단은 발생하지 않았지만, 블랭크 수율을 고려하여 초기 소재의 순

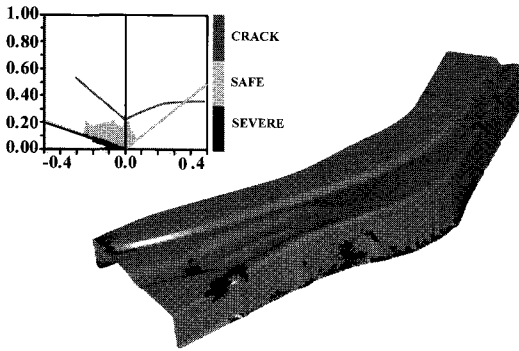


Fig. 9 FE-analysis result for forming process under blank holding force of 70ton

실이 가장 적은 10mm 를 적용하였다. Fig. 8 에 3 가지 경우 중 가장 양호한 결과인 블랭크 크기를 10mm 씩 줄인 결과를 나타내었다.

3.2 상·하형 패드력에 따른 영향 평가

상·하형 패드력이 과도하게 큰 경우 소재의 유입이 곤란해 파단이 발생할 가능성이 높아지며, 반대로 상·하형 패드력이 작은 경우 과도한 소재 유입으로 인하여 요구되는 형상의 제품을 얻을 수 없게 된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 성형해석 결과를 기초로 결함이 발생하지 않는 상·하형 패드력을 결정하였다. 하형 패드력은 프레스 용량을 고려하여 50, 60, 70ton 을 적용하였고, 상형 패드력은 현장 경험자의 노하우에 의해 결정된 하형 패드력의 20%를 적용하였다.

해석 결과 각각의 조건에 대한 파단은 발생하지 않았고, 하형 패드력이 70ton 일 경우 주름량이 가장 적었다. 이는 플랜지부의 인장력이 증가하여 소재의 유입을 제어하였기 때문이다.

Fig. 9 에 3 가지 경우 중 가장 양호한 결과인 하형 패드력 70ton, 상형 패드력 14ton 에 대한 해석 결과를 나타내었다.

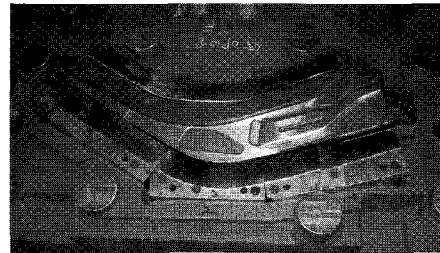
4. 시작품 제작

본 연구에서는 혼합형인 드로우엔폼타입에 대하여 Fig. 10 과 같이 금형을 제작하였고, 앞 절에서 설정한 블랭크 크기 10mm 를 줄인, 초기 블랭크 형상과 하형 패드력 70ton, 상형 패드력 14ton 에 대한 시작품을 성형하였다.

Fig. 11 은 드로우엔폼타입으로 적용하여 실제로

제품을 성형한 최종 제품에 대한 결과 사진을 나타내었다. 초기 제품 성형 해석에서 나타났던 주름이 발생하지 않았으며, 과도한 소재 유입으로 발생되었던 파단이 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 또한, 최종 제품에 대해서 검사 규격서에 나와 있는 조립 공차 만족 여부를 평가하기 위해서 SURVEYOR 사에서 제작한 레이저 스캐너를 이용하였다.

Table 3 에 Fig. 1 에서 나타낸 A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' 단면에 대한 도면상의 3 차원 모델링과 3 차원 스캐너를 이용하여 측정된 실제품 간의 편차를 나타내었다. Table 3 과 같이 측정 결과 조립 공차 $\pm 0.5\text{mm}$ 에 만족함을 알 수 있다.



(a) Upper die



(b) Lower die

Fig.10 Tools for forming process of Draw & form type

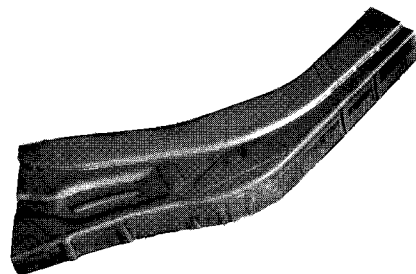


Fig.11 Final product manufactured by Draw & form type

Table 3 Deviation between CAD modeling and real product of automotive front side member part

Section	A-A'	B-B'	C-C'	D-D'	E-E'
Deviation	-0.49	0.39	-0.42	0.24	-0.5

5. 결론

본 연구에서는 인장강도 980 MPa 급 초고장력 강관의 자동차 프런트 사이드 멤버 부품을 성형할 수 있는 성형 기술을 확보하였다. 폼타입, 드로우타입, 그리고 드로우앤폼타입에 대한 성형해석 및 시작품을 제작하여 다음의 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 폼타입과 드로우앤폼타입에 대한 해석결과 드로우앤폼타입으로 제품 제작 시 주름이 감소함을 알 수 있었다. 또한 드로우타입과 드로우앤폼타입에 대한 해석결과 드로우앤폼타입을 적용할 경우 제품의 스프링백이 감소함을 알 수 있었다.

(2) 따라서, 인장강도 980 MPa 급 초고장력 강관을 적용한 프런트 사이드 멤버 부품 성형에 있어 주름과 스프링백이 상대적으로 적은 드로우앤폼타입이 가장 적합하였다

(3) 드로우앤폼타입에서 블랭크 크기를 일정하게 10mm 만큼 줄여서 파단을 방지하였고, 하형 패드력 70ton, 상형 패드력 14ton 에서 주름이 최소한으로 줄어들었다.

(4) 성형해석결과를 통해 설정된 공정변수를 바탕으로 드로우앤폼타입에 대하여 실제 금형을 제작하여 성형한 결과, 결함이 없는 인장강도 980 MPa 급 초고장력 강관 프런트 사이드 멤버 부품을 제작할 수 있었다.

후 기

지식경제부의 지역산업기술개발사업(과제번호: 70001519-2008-02)과 지식경제부와 한국기술재단의

전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- [1] S. H. Kim, H. Huh, J. H. Song, 2005, Application of the CAE process to the parameter determination for the tool design of an auto-body member, The Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 13, No. 3, pp. 64~73.
- [2] J. H. Song, H. Huh, S. H. Kim, 2007, A simulation-based design parameter study in the stamping process of an automotive member, Journal of Materials Processing Technology, 189, pp.450~458.
- [3] J. S. Park, S. H. Kim, H. Huh, 2002, Elastic-plastic Finite Element Analysis of Drawbead Forming for Evaluation of Equivalent Boundary Conditions in Sheet Metal Forming -Part II : Application to the Front Door Panel Forming Process, Transactions of Materials Processing, Vol. 11, No. 6, pp. 513~518.
- [4] H. H. Ko, D. W. Jung, H. G. Ahn, C. H. Lee, B. I. Ahn, W. S. Moon, 2006, A study of tool planning for forming analysis in REF SILL OTR-R/L autobody panel stamping process, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 23, No. 3, pp. 118~124.
- [5] International iron & steel institute, 2006, Advanced high strength steel application guidelines, Section 2-Forming, pp. 1~74.
- [6] S. P. Keeler, W. G. Brazier, 1977, Relationship between laboratory material characterization and press shop formability, Proceedings of Microalloying75, New York, pp. 517~530.
- [7] DYNAFORM-PC User's Manual, Version1.0, 2001, Engineering Technology Associates Inc.
- [8] Auto/Steel Partnership, 2000, High strength steel stamping design manual, pp. 28~41.