

프론트필러의 핫스탬핑 공정설계를 위한 블랭크형상의 최적화 연구

김지태¹ · 김병민² · 강충길[#]

Blank Shape Design Process for a Hot Stamped Front Pillar and its Experimental Verification

J. T. Kim, B. M. Kim, C. G. Kang

(Received December 9, 2011 / Revised March 15, 2012 / Accepted April 4, 2012)

Abstract

Hot stamping is a forming method that offers various advantages such as superior mechanical properties, good formability, and very small springback. However, relatively large-sized parts, such as front pillars, exhibit poor formability when hot stamped due to the limited material flow and thickness reduction imparted by the process. This reduction in thickness can also lead to cracks. One of the reasons is the relatively high friction between the sheet and the die. In this study, in order to obtain the optimal conditions for hot stamping of front pillars, various process parameters were studied and analyzed using the sheet forming software, J-STAMP. The effects of various parameters such as the die structure, blank shape, blank holding force, punch speed, clearance(upper and lower dies) and distance block were analyzed and compared.

Key Words : Hot Stamping, 22MnB5, Hot Press Forming, Boron Steel, Die Structure, Blank Design

1. 서론

오늘날 자동차 산업은 환경규제와 유가상승 등으로 인하여, 경량화를 통한 연비상승과 배기가스 감소를 위해 노력하고 있다. 이와 더불어 측면충돌안전성에 관한 법규 및 상품성 평가가 강화되면서 충돌 안전성능이 우수한 차량을 개발하기 위하여 노력하고 있다.

충돌 안정성 확보와 경량화라는 상반되는 요구를 만족시키기 위해서, 초고강도강판을 차체에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

그러나, 초고강력 강판을 차체에 적용하기 위해서는 스프링백과 낮은 연신률 때문에 어려움이

있다. 특히, 강판의 강도가 높아 짐에 따라 가공성이 저하되어 적용에 많은 제약이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위해서, 최근 다이퀀칭(Die quenching)을 적용한 핫 스템핑 성형공법을 자동차 차체에 적용하고 있다. 다이퀀칭을 적용한 핫스탬핑 공법은 보론강(22MnB5)을 900℃까지 가열하여, 안정화 오스테나이트상을 얻은 후 상변태를 통해 마르텐사이트상을 가지는 제품을 얻는 공법이다. 초기 페라이트·펄라이트상인 소재를 마르텐사이트상으로 상변태시킴으로써 600Mpa에서 1.5G이상의 강도를 얻을 수 있다.

또한, 성형공정은 오스테나이트 영역에서 이루어짐으로서 스프링백과 잔류응력에 대한 영향이 적어

1. 현대하이스코 기술연구소 경량화연구팀
2. 부산대학교 일반대학원 기계공학부 정밀가공시스템전공
교신저자 : 정밀정형및금형가공연구소(ERC/NSDM),
E-mail : cgkang@pusan.ac.kr

치수확보에 유리하다. 핫 스탬핑 공정은 열간 상태의 블랭크 이송과 오스테나이트 영역에서의 빠른 성형이 이루어짐에 따른 고가의 설비, 고도의 제어기술이 요구되며 또한, 일반적인 스탬핑 공정에 비해 고려해야 할 변수가 많다[2]. 이러한 핫스탬핑 공법을 실제 양산 자동차에 적용되기 위해서, 가열과 퀘칭 그리고 템퍼링과 같은 온도조건에 따른 최종목표 조직인 마르텐 사이트 생성과 분포[3], 성형속도와 냉각속도에 따른 열·기계적 소재유동특성[4], 고온에서 소재의 유동특성과 금형과의 열전달을 실험과 시뮬레이션을 통한 연구[5], 보론강판의 열간벤딩 공정에서 성형인자가 기계성질에 미치는 영향[6] 그리고, 제품의 스프링백과 잔류응력 등이 최종 품질에 미치는 영향[7]에 관한 연구가 수행되었다. 핫스탬핑 공정에 효율성과 생산성을 향상시키기 위해 유도가열방식을 적용하여 효율성과 기존 가열방식과의 비교와 최종 품질에 미치는 영향에 관한 연구[8]과 핫스탬핑용 주조금형과 단조금형에 대한 시간과 압력에 따른 열전달계수의 예측에 관한 연구가 진행되었다[9]. 또한, 판재성형 공정에 적용하기 위한 블랭크 형상 최적화 방법이 여러 연구자들에 의해 소개되었다. 대표적인 방법으로는 변형경로에 의한 방법[10], 역 추적기법[11], 이상공정[12], 역접근법[13], 슬림선 신장법[14], 기하학적 함수법[15], 민감도 분석법[16] 그리고, 유한요소해석을 통한 시행착오법 [17]에 의한 블랭크 설계법이 있다. 하지만, 핫스탬핑 금형 구조와 공정변수가 성형성에 미치는 영향에 관한 연구와 최적화 블랭크 설계에 관한 연구는 상대적으로 부족하다. 프레스 금형의 구조와 공정변수는 핫스탬핑을 포함한 모든 판재 성형 공정에서 제품의 품질과 직결되는 부분이며, 또한 프레스금형은 가공 중 문제가 발생하더라도 수정이 어렵고, 또한 수정은 시간과 비용이 많이 소모 되므로 금형의 공법설계 단계에서부터 철저한 분석과 해법모색으로 제작중의 문제를 극소화 하여야 한다. 그리고, 앞서 소개된 최적화 블랭크 설계방법들은 핫스탬핑에 적용 하기 위해 개발된 것이 아니며, 형상이 크거나 복잡한 경우에는 적용에 어려움이 있다.

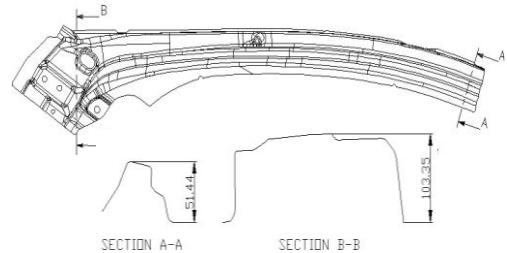
본 논문에서는 상용 유한요소해석프로그램을 이용한 핫스탬핑 공정을 설계하였다. 공정설계 시 제품의 품질에 관련된 프레스금형의 구조와 공정변수를 고려하여 설계하였고, 최적화 블랭크를 설계하여 생산효율성을 고려하였다.

Table 1 Mechanical properties and initial dimension of the blank

Blank material		22MnB5
Initial dimension	thickness, t (m)	0.0014
	Density, ρ (kg/m ³)	7830
Blank properties	Heat capacity, Cp (J/kgK)	650.
	Thermalconductivity, k (W/mK)	32.
	Linear expansion, α (1/C)	1.3e-05
	Young's modulus, E (GPa)	100.
	Poisson's ratio, ν	0.30



(a) 2D surface model of front pillar



(b) Draft view and detail view of front pillar

Fig. 1 Shape and detail view on front pillar

2. 성형해석을 통한 공정설계

2.1 시뮬레이션 정의

프론트필러의 성형 시뮬레이션은 상용유한요소 해석 코드인 LS-DYNA(ver. 9.7.2)를 이용하였고, Pre-Post는 J-Stamp를 이용하였다. 열적 기계적 해석을 위해 탄성 소성 점성 물성타입인 *MAT_106[18]을 적용하였다. 이 물성타입은 고온에서의 유동응력과 기계적 특성(밀도, 탄성계수, 프아송비, 초기항복응력)에 대한 정의가 필요하다. Table 1은 보론강(22MnB5)의 기계적 특성과 두께를 나타낸 것이며, 참고문헌을 참고하여 데이터 베이스화 하였다[5]. 유동응력의 정의를 위해 500℃, 550℃,

650℃, 800℃ 온도영역에서의 일축 인장 실험결과를 유효응력 유효변형률 곡선으로 변환 후 대입하였다. 압력에 따른, 접촉 열전달계수는 참고 문헌과 실험 등을 고려하여 적용하였다[9]. 성형 해석은 쉘 요소를 적용한 2D해석으로, 가공 중 발생하는 변형과 응력을 측정하였다.

두께에 따른 온도구배는 12node 요소를 적용하여 구현 하였다. 메쉬(Mesh) 사이즈는 3mm로 결정하였고, 역해석은 자동적응 메쉬를 적용하였다. Fig. 1(a)는 프론트 필러의 형상이며, 이를 기반으로 금형형상을 설계하였다. Fig. 1(b)는 프론트필러의 형상과 최대 성형 깊이를 단면도 (Section A-A, B-B) 을 통하여 나타낸 것이다.

2.2 공정변수 도출

금형형상 결정에 앞서 적합한 공정변수를 도출하기 위하여, 드로우 타입 금형을 가지고 초기 공정변수를 도출하였다. 시뮬레이션을 통하여 성형성에 미치는 공정변수의 영향을 파악하고, 결정하기 위해서 블랭크홀딩력(B_f), 금형블록(D_b), 성형속도(V_d) 그리고 공차(δ , 상부 금형과 하부 금형사이의 소재 두께를 제외한 공차)과 같은 공정변수를 주요 변수로 설정하였다. Table 2은 공정 변수를 결정하고 영향을 분석하기 위한, 해석조건들이다.

Table 3는 드로우타입과 폼 타입의 도출된 공정조건을 나타낸 것이다. 첫 번째 변수인 패드압력과 블랭크홀딩력은 소재의 유입성을 적절하게 유지하고 주름을 최대한 억제하도록 하였다. 두 번째 변수인 성형속도는 오스테아나이트 영역에서 성형되고, 성형성에 최소한의 영향을 미치도록 하였다. 세 번째 공차(Clearance)는 소재 유입성을 증가시켜 성형성을 향상시키되, 주름의 발생은 억제하도록 설정하였다. 폼 타입 금형의 경우, 드로우 타입 금형의 공정변수를 바탕으로 패드압력을 추가하여 설계하였다. 이때, 패드압력(P_1 , Pad Load)은 20kN와 30kN를 적용할 경우, 소재유입 성이 낮아 두께감소에 의한 파단영역이 증가하기 때문에 10kN 유지하였다.

2.3 금형구조의 결정

일반적으로 핫스탬핑에 적용되는 금형은 냉각유리가 설치되어야 하기 때문에 복잡한 금형은 적용되기 어렵다. 이러한 이유로 Fig. 2 (a)와 Fig. 2(b)에서 나타난 드로우형 금형과 폼형 금형이 적용된다. Fig. 3(a) 의 성형해석결과는 드로우타입 금

Table 2 Simulation conditions for variation of process parameters

Con. Num.	D_b (mm)	B_f (kN)	V_d (mm/s)	δ (mm)
1	0	5	100	100
2	0	10	100	100
3	0	20	100	100
4	0	30	100	100
5	0	30	110	100
6	0	30	120	100
7	0.4	30	110	100
8	0.4	30	110	105
9	0.4	30	110	110
10	0.4	30	110	115

Table 3 Process parameter values for hot stamping

B_f (kN)	P_1 (kN)	V_d (mm/s)	δ (mm)	D_b (mm)
30	10	115	110	0.4

형을 적용하여 수행한 성형해석 결과이다.

Table 2의 모든 조건에서 제품의 측면에서의 파단이 발생하였고, 상형 금형의 스트로크가 하사점에 도달하기 이전에 60% 이상의 파단이 제품의 측면에 일직선으로 나타났다. Fig 1의 단면도에서 나타난 최대성형 깊이에 도달하지 못하고 파단이 발생하기 때문에, 프론트필러의 핫스탬핑 공법에는 적합하지 않다.

반면에 폼타입금형은 주름발생 예측부분에는 패드로 압력을 가해 주름발생을 억제하고, 나머지 부분은 장력을 최소화 하여 소재유입이 드로우타입에 비하여 원활하다. Fig. 3(a)는 Table 3에서 B_f 를 제외한 나머지 변수들을 폼타입금형에 적용한 성형해석이며, 해석결과에서 최대성형 깊이까지 성형이 가능하였고 측면의 파단 또한 관찰 되지 않았다. 성형성으로 금형의 형태를 결정하면, Fig. 2(b)에서 제시한 폼타입금형 형상이 핫스탬핑 공정에 적합하다.

2.4 블랭크 형상 설계

자동차 차체의 프레스 가공품은 가공 후에 잘라내야 하는 부분(Scrap)이 발생한다. 이러한, 가공 후에 발생하는 스크랩을 줄이는 일은 생산성 향상에 매우 중요하다. 가장 효율적방법은 정밀정형(Near net-shape)으로 가공하는 것이다.

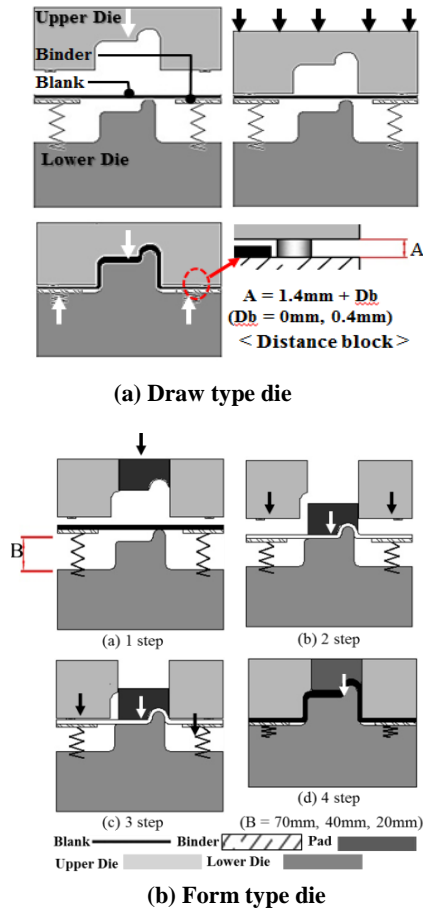


Fig. 2 Schematic die structures to apply hot stamping

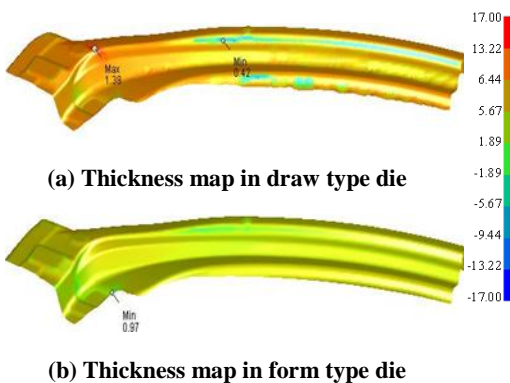


Fig. 3 Thickness map according to die type

판재성형에서는 블랭크의 최적화 설계로 가능하다. 최적화 블랭크형상을 얻기 위해, Fig. 4의 알고리즘과 같은 설계방식으로 최적화 블랭크를 도

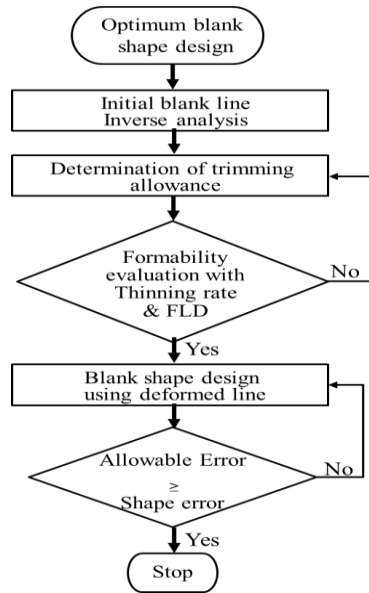
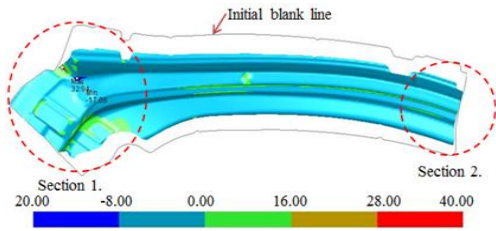


Fig. 4 Schematic algorithm for optimum blank shape

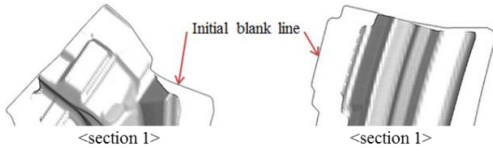
출하였다. 최적화 형상 설계는 다음과 같이 크게 6단계로 나누어 진다. 1) 제품 형상을 바탕으로 초기블랭크 형상을 도출하여, 2) 초기형상을 바탕으로 트리밍여유를 결정한다. 3) 트리밍여유를 적용하여 목표형상을 결정한 후 성형해석을 통하여 변형경로를 분석한다. 4) 변형 경로를 이용하여 체적가감범으로 블랭크 형상을 수정한다. 5) 목표형상과 소성변형후의 형상을 분석하여 오차를 계산하고, 6) 오차가 50mm를 넘지 않으면 최종형상으로 적용하고 초과시에는 4단계부터 다시 시작한다.

최초 블랭크 형상은 역해석을 적용하여 도출하였다. 역해석은 최종 형상인 제품을 바탕으로 곡률면과 같은 형상을 평면으로 바꿔주는 방법이다. 역해석을 열적영향성과 마찰은 무시하고 톨의 작동방향, 적용패드압력, 그리고, 소성·탄성만을 고려하였다. 메시는 자동적응메쉬(메쉬 크기가 일정하지 않고, 곡률부의 크기는 작고 평면부의 크기는 큼)를 적용하였다. Fig. 5(a)에서 나타낸 initial blank line은 역해석을 통하여, 도출한 초기블랭크의 외곽선을 나타낸 것이다.

Fig. 5(a), (b)는 초기블랭크를 바탕으로 성형 해석을 수행한 것이다. 확대도 1(section 1.) 과 확대도 2(section 2.) 은 성형 후 제품과 초기 블랭크의 윤곽선의 변화가 거의 없는 부분을 나타낸 것이며, 이러한 점을 고려하여 블랭크 형상의 변화



(a) Simulation result and thickness map



(b) Section view of section 1 and 2

Fig. 5 Designed blank shape from initial blank line of the form type die

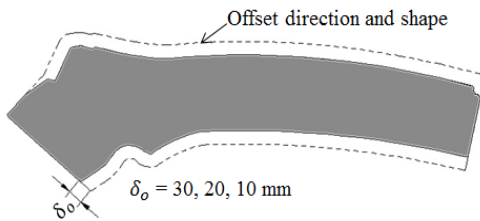


Fig. 6 Determine offset line to make trimming allowance

만 주어 형상을 설계하였다. Fig. 6 는 트리밍 여유 (30mm, 20mm, 10mm)를 결정하기 위해, 적용 한 블랭크 라인과 오프셋 방향을 나타낸 것이다.

트리밍 여유는 성형후의 제품의 파단과 주름을 통하여 판단하였으며, 파단은 앞서 설명한 17% 이상의 두께 감소율을 적용하였고, 주름은 FLD를 적용하여 판단하였다. 단, 고온 FLD를 적용하지 않고, 추측 값을 적용하여 주름발생 경향성을 파악하였다.

FLD의 추측 값은 Keller-Goodwin의 곡선을 적용하였으며, FLC_0 값은 750℃의 고온인장 데이터를 적용하였다. 750℃의 고온인장데이터를 적용한 이유는 성형해석시 소재의 온도가 780~630℃내외로 중간온도를 적용하였다. 750℃의 n (가공경화지수)를 도출한 후 식 (1)에 적용하여 FLC_0 를 계산하였다. 계산된 FLC_0 를 바탕으로 Keeler-Goodwin의 곡선을 적용하여 가상의 FLD를 만들었다. 단, FLD 곡선을 예측할 때 냉각은 무시하였고, 온도와 변형률 속도는 일정하다고, 온도와 변형률 속도는

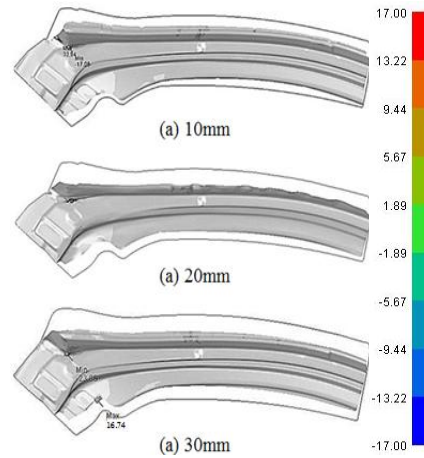


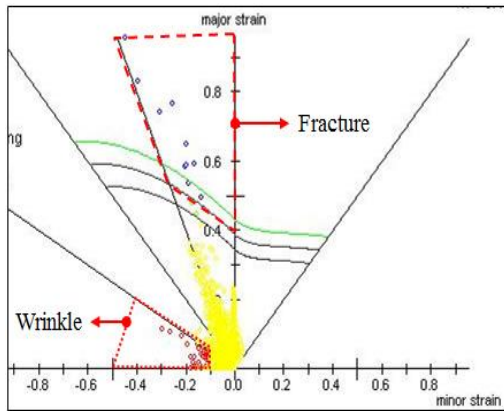
Fig. 7 The thickness according to different offset

일정하다고 가정하였다. 또한, 정확한 주름의 양을 정량화 하여 나타내기 보다는 경향성을 파악하기 위해 FLD를 적용하였다.

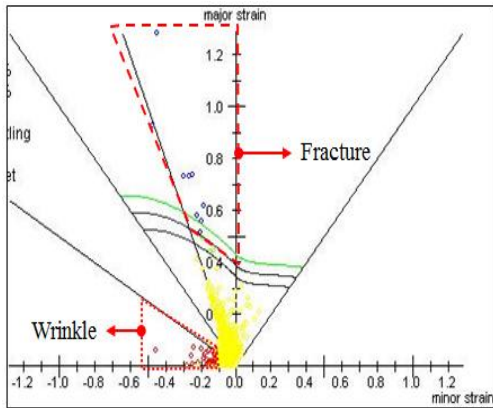
Fig. 7와 Fig. 8는 트리밍여유의 변화에 따른 두께 감소율, FLD를 나타낸 것이다. 파단은 두께감소율로 판단하고, 주름은 FLD로 도시하여 나타내었다. Fig. 8(a), Fig. 8(b) 그리고, Fig. 8(c)을 트리밍여유에 따른 추측 FLD를 나타낸것이다. 트리밍여유가 증가할수록 두께감소에 의한 파단은 감소하였지만, 주름은 큰 변화가 없었다. 주름은 비드로 제어할 수 있으므로, 30mm의 트리밍여유를 선택하였다.

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

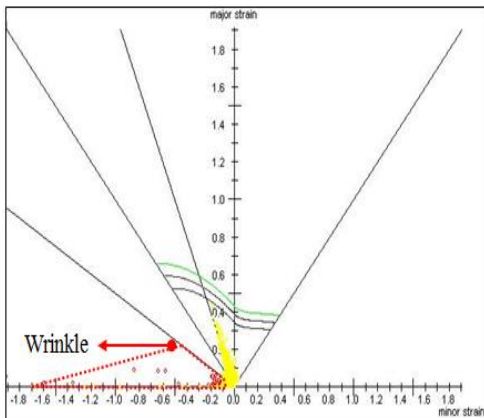
Fig. 9(a)는 역해석을 통하여, 도출한 블랭크 형상을 적용하여 성형한 블랭크의 외곽형상과 최종형상까지의 각 지점의 노드의 변형경로를 나타낸 것이다. 노드의 선정은 완만한 구간에서는 노드의 간격을 넓히고, 곡선과 기울기 등이 가파른 부위에서는 형상의 제현성을 위해 노드간격을 좁혀 표현 하였다. 기본 30mm간격으로 노드를 선택하되, 30°이상의 각도에서는 한 개 이상의 노드를 선택 노드선정은 완만한 구간에서는 노드의 간격을 넓히고, 곡선과 기울기 등이 가파른 부위에서는 형상의 제현성을 위해 노드간격을 좁혀 표현 하였다. 기본 30mm간격으로 노드를 선택하되, 30°이상의 각도에서는 한 개 이상의 노드를 선택 하여 변형경로를 추적하였다.



(a) $\delta_0 = 10\text{mm}$

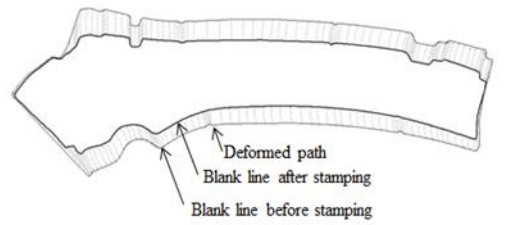


(b) $\delta_0 = 20\text{mm}$

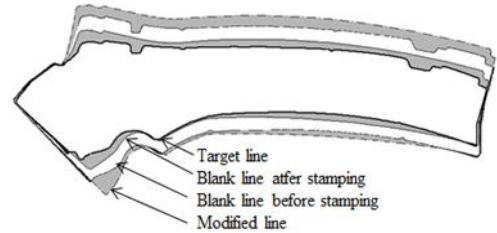


(c) $\delta_0 = 30\text{mm}$

Fig. 8 Forming limit diagram according to different offset



(a) Deformed path



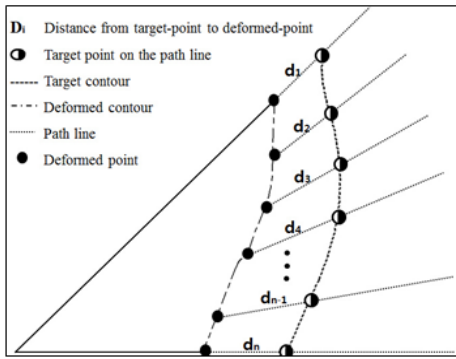
(b) Modified Line

Fig. 9 Deformed path and modification of blank line

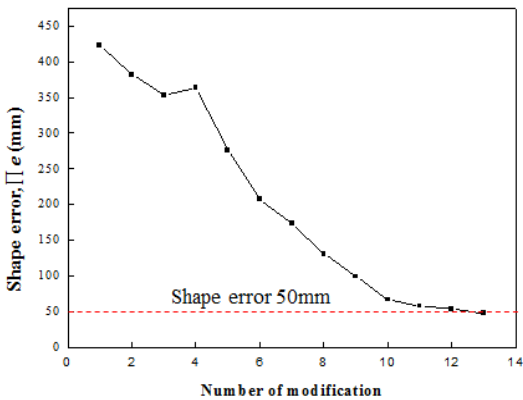
Fig. 9(b)는 Fig. 9(a)의 변형경로를 바탕으로 외삽법을 적용한 확장된 변형경로에 체적 가감법을 적용하여, 블랭크형상을 설계하는 방법을 나타낸 것이다.

체적의 계산은 두께변화가 없다는 가정하에, 변형경로를 이용하여 체적을 계산한다. 하지만, 변형경로를 초기블랭크와 변형된 블랭크형상 사이에서만 존재하기 때문에 부족한 체적량을 변형경로에 따라 초기 형상에 더하는 경우에는 변형경로를 알 수 없다. 이를 보완하기 위해서, 기존의 데이터를 바탕으로 추측 값을 적용하게 되는데 이 방법이 외삽법이다. 외삽법은 Excel의 Math card의 predict함수를 사용하여 구하였고, 기존 노드의 변형이력을 바탕으로 외삽한 노드의 이력을 2D CAD상으로 옮겨 각 노드점에 대입시켰다. 2D CAD상의 확장된 외삽 곡선을 바탕으로 목표형상보다 미달한 부분은 증가(Fig. 9(b)의 Volume addition), 목표형상을 넘는 부분은 가감(Fig. 9(b)의 Volume subtraction)하여 블랭크 형상을 수정한다.

형상오차를 정의하기 위해서 Fig. 10(a)에 제시한 방법과 같이 변형된 경로 상에서 원하는 형상(Target contour)과 성형된 형상(Deformed contour)과의 오차량을 오차편차로 나타낸 형상오차로 정의하였다. 식(2)와 같이 편차는 데이터 개개의 값과 정해와의 불균일 정도를 나타내는 값이므로 형상오차값은 0에 가까워 지고, 형상오차가 전혀 없을



(a) Define of shape error, d_i (mm)



(b) Shape error according to modification

Fig.10 Define the shape error value and shape error

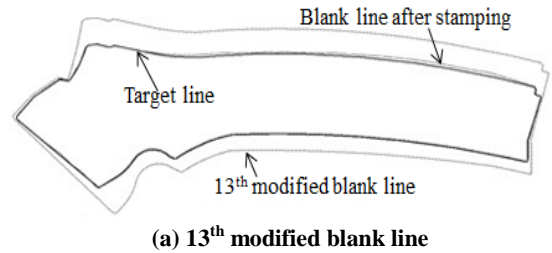
경우에는 0이된다.

여기서, d_i 는 원하는 형상(Target contour)과 변형된 형상(Deformed contour)의 변형경로(Path line)상의 오차거리이다.

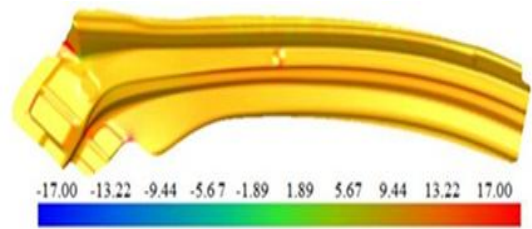
$$\Pi_{error} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n d_i \quad (2)$$

Fig. 10(b)는 수정횟수에 따른 오차량을 나타낸 것이고, 총 수정횟수는 총 13회이다. 13회 수정 시 블랭크 형상오차 값은 50mm이하로 나타났다. 총 수정 횟수가 13회로 예상보다 증가한 이유는 형상이 복잡하고 성형면적이 커 변형경로 파악의 어려움과 외삽법에 의한 확장곡선이 휘어지는 경우가 발생하여, 체계계산시 발생한 오차에 의해 수정횟수가 증가하였다.

Fig. 11(a)는 최적화 설계된 블랭크와 스탬핑 후의 외곽선을 비교하여 보았을때, 오차범위 내에서



(a) 13th modified blank line



(b) Thickness reduction map in the 13th blank line design

Fig.11 Final blank shape and tickness reduction map

수렴하였다.

Fig. 11(b)에 나타난 최종 블랭크형상을 적용한 성형해석 결과이며, 17% 이상의 두께감소가 나타나 지 않아 양호한 품질의 제품을 도출할 수 있었다.

3. 프론트필러 시제품 제작

시물레이션을 통하여 설계한 공정을 적용한 제품의 품질을 검증하기 위해, 시제품을 제작하였다. Fig. 12(a)는 시제품과 시물레이션상의 주요파 단부(Fig. 12(b)의 A, B, C, D와 동일)을 나타낸 것이다. 그리고, Fig. 12(b)는 도출된 공정조건에서의 도출된 공정조건에서의 주요 파단예측 부를 나타낸 것이다. Fig. 12(c)는 Fig. 12(a)와 Fig. 12(b)의 주요 파단 예측부분의 두께 감소율을 최적화 블랭크형상을 적용한 해석결과와 비교하여 나타난 그래프이다. 시제품의 두께감소율은 시물레이션의 주요파단 예측부분과 동일한 부분을 마이크로 미터(오차 $\pm 1\mu m$)를 이용하여 측정하였으며, 3mm 간격으로 7회 측정 후 평균값을 계산한 것이다.

그래프상에서 C를 제외한 나머지 부분에서 초기 시물레이션 결과에서 두께 감소율이 17% 이상으로 파단이 예측되었지만, 공정설계 이후의 시물레이션 결과와 시제품제작에서 두께감소율은

4. 결론

시물레이션 결과를 바탕으로 프론트필러의 공정을 설계하여, 시제품 제작에 적용한 후 시제품의 두께를 측정하였다. 성형해석과 시제품 제작을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 주름을 방지하기 위한 블랭크 홀딩압력·패드 압력(Blank holding force · Pad load)의 증가는 주름은 억제하였지만 오히려, 두께감소에 의한 파단 영역은 증가하였다. 성형속도(Velocity)의 경우 소재가 오스테나이트 영역 안에서 성형될 수 있도록 최대한 빠르게 하는 것이 유리하며, 일정속도 이상의 성형속도에서는 성형성에 크게 영향을 미치지 않았다. 상형과 하형금형의 공차(Clearance) 증가는 소재유입성의 증가를 가져오는 반면, 주름은 증가하였다. Distance block을 적용하였을 경우, 급격한 온도 변화를 억제하여 소재유입성을 증가시켜 성형성을 향상 시켰다.

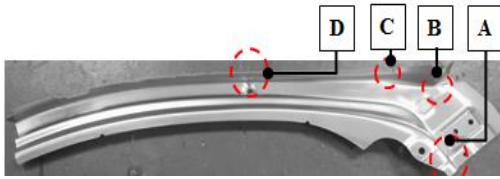
(2) 핫스탬핑 공법에 폼타입금형을 적용한 경우, 드로우 타입에서 발생하는 마찰력으로 인한 장력이 감소되어 소재유입성이 증가하였다. 그리고, 제품의 측면 부에서 상대적으로 균일한 연신이 가능하여 최종 성형 깊이까지 파단 없이 성형이 가능하였다. 핫스탬핑 공법에 적용하기 위한 금형형상은 폼 타입금형이 적합하다.

(3) 핫스탬핑 공정에 적용하기 위해 제시한 블랭크 형상설계 방법으로 설계된 블랭크를 적용하여 성형해석과 시제품에서 두께 감소에 의한 파단과 주름이 없고 목표형상과 오차범위 내에서 수렴하는 제품을 얻을 수 있었다.

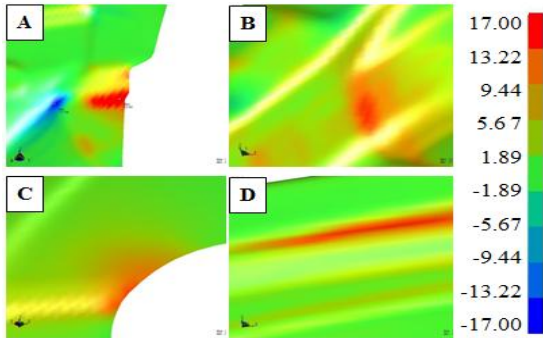
(4) 시물레이션의 정확도를 판단하기 위해서 시제품을 제작하여, 마이크로 미터로 두께를 측정하고 주름은 육안으로 확인하였다. 측정결과 17% 이상의 두께 감소와 주름이 발생하지 않았다. 이는 성형해석결과와 시제품제작이 일정부분 이상 수렴됨을 알 수 있었다.

후 기

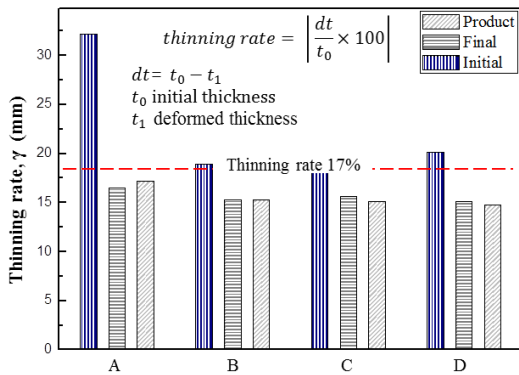
본 과제(연구)는 지식경제부와 한국산업진흥원의 전략기술인력양성사업의 지원과 지식경제부의 동남광역경제권 선도사업 육성사업(기술개발)으로 수행된 연구결과입니다.



(a) Proto type front pillar and expression of main fracture positions



(b) Main fracture positions in simulation results



(c) Thinning rates in each positions

Fig.12 Manufacture prototype front pillar and confrim quality

감소하였고, 17% 이상의 두께감소율은 발생하지 않았다. 주름의 경우 Fig. 12(a)에서 나타낸 것과 같이 과도한 주름은 나타나지 않았다.

즉, 시물레이션과 실험적 결과를 비교해보면 많은 부분이 수렴된다는 점을 확인 할 수 있었다. 특히 성형시 Thinning rate의 감소는 파단과 밀접한 관련이 있으며 이것은 제품의 최종형상에도 큰 영향을 미치기 때문에 해석시에 큰 주안점을 가져야 한다.

참 고 문 헌

- [1] G. H. Bae, H. Huh, J. H. Song, S.H. Kim, 2006, Light-weight Design with a Simplified Center-pillar Model for Improved Crashworthiness, Trans. Kor. Soc. Auto. Eng., Vol. 14, No. 6, pp. 112~119.
- [2] H. S. Choi, W. S. Lim, C. G. Kang, B. M. Kim, 2011, A Local Softening Method for Reducing Die Load and Increasing Service Life in Trimming of Hot Stamped Part, Trans. Mater. Process., Vol. 20, No. 6, pp. 427~431.
- [3] J. S. Lee, M. S. Chae, C. D. Park, Y. S. Kim, 2009, Mechanical and Forming Characteristics of High-Strength Boron-Alloyed Steel with Hot Forming, Trans. Mater. Process., Vol. 18, No. 3, pp. 236~244
- [4] M. Merklein, L. Lechler, M. Geiger, 2006. Characterization of the Flow Properties of the Quenchenable Ultra High Strength Steel 22MnB5, CIRP Ann., Vol. 55, No. 1, pp. 229~233.
- [5] H. G. Kim, H. S. Son, S. H. Park, 2006, Development of Thermal-mechanical Coupled Simulation Skills for Hot Press Forming Tool Design, Posco Tech. Rep., Vol. 9, No. 1, pp. 117~ 125.
- [6] K. Y. Kwon, B. S. Sin, C. G. Kang, 2010, The Effect of Forming Parameter on Mechanical Properties in Hot Bending Process of Boron Steel Sheet, Trans. Mater. Process., Vol. 19, No. 4, pp. 203~209.
- [7] Y. S. Suh, M. W. Ji, K. H. Lee, Y. S. Kim, 2010, Application and Verification of Virtual Manufacturing to Hot Press Forming Process with Boron Steel, Trans. Kor. Soc. Auto. Eng., Vol. 18, No. 2, pp. 61~66.
- [8] R. Kolleck, R. Veit, M. Merklein, J. Lechler, M. Geiger, 2009, Investigation on Induction Heating for Hot Stamping of Boron Alloyed Steels, CIRP J. Manuf. Sci. Technol., Vol. 58, No. 1, pp. 275~278.
- [9] N. H. Kim, C. G. Kang, 2010, The Prediction of Interfacial Heat Transfer Coefficient According to Contact Time and Pressure in Forging and Casting Die Materials for the Hot Press Forming, Trans. Mater. Process., Vol. 19, No. 6, pp.378~386.
- [10] S. H. Park, J. W. Yoon, D. Y. Yang, Y. H. Kim, 1999, Optimum Blank Design in Sheet Metal Forming by Deformation Path Iteration Method, Int. J. Mech. Sci., Vol. 41, No. 10, pp. 1217~1232.
- [11] T. W. Ku, H. J. Lim, H. H. Choi, S. M. Hwang, B. S. Kang, 2001, Implementation of Backward Tracing Scheme of The FEM to Blank Design in Sheet Metal Forming, J. Mater. Process. Technol., Vol. 111, No. 1~3, pp. 90~97.
- [12] K. Chung, J. W. Yoon, O. Richmond, 2000, Ideal Sheet Forming with Frictional Constraints, Int. J. Plast., Vol. 16, No. 6, pp. 595~610.
- [13] H. Naceur, Y. Q. Guo, J. L. Batoz, 2004, Blank Optimization in Sheet Metal Forming Using an Evolutionary Algorithm, J. Mater. Process. Technol., Vol. 151, No. 1~3, pp. 183~191.
- [14] X. Chen, R. Sowerby, 1996, Blank Development and The Prediction of Earing in Cup Drawing, Int. J. Mech. Sci., Vol. 38, No 5, pp. 509~516.
- [15] R. Sowerby, J. L. Duncan, E. Chu, 1986, The Modeling of Sheet Metal Stampings, Int. J. Mech. Sci., Vol. 28, No. 5, pp. 415~430.
- [16] H. Shim, K. Son, K. Kim, 2000, Optimum Blank Shape Design by Sensitivity Analysis, J. Mater. Process. Technol., Vol. 104, No. 3, pp. 191~199.
- [17] K. Son, H. Shim, 2003, Optimal Blank Shape Design Using The Initial Velocity of Boundary Modes, J. Mater. Process. Technol., Vol. 134, No. 1, pp. 92~98.
- [18] LSTC, 2009, LS-DYNA Ver. 971 User Manual *MAT_106, LSTC, Seoul, Korea, pp. 398~400.