

스프링백 해석 정도 향상을 위한 입력조건에 관한 연구

한연수^{1#}, 오세욱¹, 최광용²

A study on the Effects of Input Parameters on Springback Prediction Accuracy

Y. S. Han, S. W. Oh, K. Y. Choi

Abstract

The use of commercial finite element analysis software to perform the entire process analysis and springback analysis has increased fast for last decade. Pamstamp2G is one of commercial software to be used widely in the world but it has still not been perfected in the springback prediction accuracy. We must select the combination of input parameters for the highest springback prediction accuracy in Pamstamp2G because springback prediction accuracy is sensitive to input parameters. Then we study the affect of input parameters to use member part for acquiring high springback prediction accuracy in Pamstamp2G. First, we choose important four parameters which are adaptive mesh level at drawing stage and cam flange stage, Gauss integration point number through the thickness and cam offset on basis of experiment. Second, we make a orthogonal array table L82[(7)] which is consist of 8 cases to be combined 4 input parameters, compare to tryout result and select main factors after analyzing affect factors of input parameters by Taguchi's method in 6 sigma. Third, we simulate after changing more detail the conditions of parameters to have big affect. At last, we find the best combination of input parameters for the highest springback prediction accuracy in Pamstamp2G. The results of the study provide the selection of input parameters to Pamstamp2G users who want to Increase the springback prediction accuracy.

Key Words : Springback, Input parameters, Adaptive Mesh Level, Gauss Integration Point Number through the thickness, Cam offset, Affect Factors, 6 Sigma

1. 서론

최근 자동차 연비 향상을 위해 차체 경량화가 요구되고 있어 고강도 강판의 적용이 점점 증가하고 있다. 그러나 고장력 강판을 사용하여 프레스 가공을 할 경우 기존 강판보다 스프링백 양이 크게 발생하여 제품 정도를 만족하는데 큰 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 금형 제작 전 전공정 성형해석과 스프링백 해석은 필수적인 작업이 되었다. 특히 스프링백 문제를 사전에 해결하기 위해 스프링백 해석 정도를 높이는

작업은 매우 중요하다. 지금까지 스프링백 해석 정도를 높이기 위한 입력 인자에 대한 많은 연구가 진행되었지만 실제 금형 조건에서의 입력 인자 연구는 미흡한 실정이다[1-4].

본 연구는 실제 6시그마 다구찌 방법(Taguchi's method)을 이용하여 실금형 조건에서 현재 스프링백 정도 수준을 파악하고, 스프링백 해석 입력 인자 영향도 분석을 통해 입력 인자 최적화 조건을 선정하고, 영향도가 큰 인자에 대한 조건별 세부 해석을 통해 스프링백 해석 정도를 높이는 데 목적이 있다.

1. 현대자동차 톨링센터 금형기술개발팀

2. 한국 ESI㈜ VM팀

교신저자: E-mail:comphan@hyundai-motor.com

2. 스프링백 해석 입력값 최적화

2.1 6 시그마를 이용한 영향 인자 분석

스프링백 해석 입력값 최적화를 위해 우선 해석 정도에 미치는 영향이 큰 입력값 4개를 선정 한 후, 입력값 4개에 대해 6시그마의 다구찌 방법에 근거한 직교좌표계(L82[(7)])를 구성한다.

직교좌표계 각 인자에 대해 영향도를 분석한 다음, 주인자(Main factor) 선정, 주인자로 구성된 최적 입력값 정의의 순으로 스프링백 해석 입력값을 최적화한다.

2.1.1 전공정 해석 파트 선정

스프링백 해석 결과와 제품 결과를 비교하기 위한 해석 파트로 Member front side rear 를 다음과 같은 이유로 선정하였다.

첫째, 스프링백 해석이 크고 둘째, 스프링백 경계조건 단순하며 단차(Flush)와 면 비틀림(Template) 측정이 용이하며 마지막으로, 펜더에 비해 해석시간 짧아 결과를 빨리 확인할 수 있다.

멤버의 스프링백 경계 조건 및 측정위치는 Fig. 1과 같다.

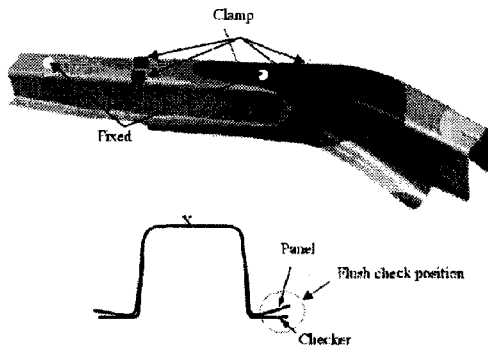


Fig. 1 The springback boundary conditions and check position of member

멤버 재질은 인장 강도 440MPa, 두께 1.6mm, 크기 1,100mm×570mm 이고, 프레스 종류는 싱글 액션(Single Action), 블랭크 홀딩력 60 톤, 쿠션 스트로크(Cushion Stroke) 170mm 이다.

전체 공정은 4 개로 구성되어 있으며, 각 공정 작업 내용은 OP10 드로우 공정, OP30 캠 리스트 라이크 공정, OP20 과 OP40 트림 및 피어스 공정 이다.

2.1.2 입력인자 선정

HMC 경험과 ESI의 추천으로 스프링백 해석에 영향이 큰 입력값과 세부 수준을 다음과 같이 선정하였다. OP10 어댑티브 메쉬 레벨(Adaptive Mesh Level) 2수준과 3수준, OP30 어댑티브 메쉬 레벨 3수준과 4수준, 두께방향 보간점 개수(Gauss Integration Point number through the thickness) 5개와 7개, 캠 옵셋(두께의 10% 더함) 적용과 미적용으로 4개 입력값과 2수준을 선택하여 6시그마의 다구찌 방법에 근거 총 8개의 인자로 구성된 직교좌표계를 선정하였다. 직교좌표계(L82[(7)]) 세부내용은 Table 1과 같다.

Table 1 Orthogonal array table by Taguchi's method in 6 sigma

Factor	A OP10 AML (Mesh Size)	B OP30 AML (Mesh Size)	C A×B	D GIP	E OP30 Cam Offset	F B×D	G B×E
(1)	2 (4-3)	3 (2-1)		5	10%		
(2)	2 (4-3)	3 (2-1)		7	0%		
(3)	2 (4-3)	4 (2-1-0.5)		5	10%		
(4)	2 (4-3)	4 (2-1-0.5)		7	0%		
(5)	3 (4-2-1)	3 (1)		5	0%		
(6)	3 (4-2-1)	3 (1)		7	10%		
(7)	3 (4-2-1)	4 (1-0.5)		5	0%		
(8)	3 (4-2-1)	4 (1-0.5)		7	10%		

2.2 실제 결과와 비교

정확한 블랭크 위치를 위해 OP10 금형에 게이지(Gage)를 설치하였고, 측정은 단차(Flush) 35곳, 템플릿(Template) 18곳으로 총 53곳을 CMM (Coordinate Measurement Machine)으로 실시하였다. 세부 측정 위치는 Fig. 2와 같다.

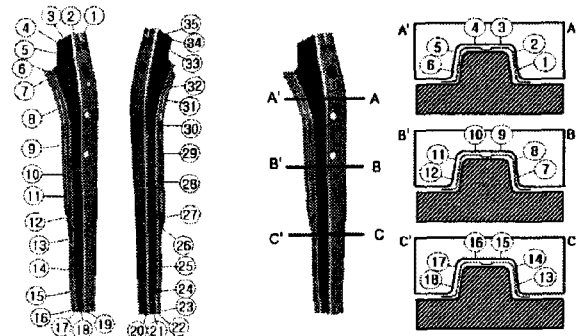


Fig. 2 The check positions(Flush and Template) of springback

2.2.1 각 인자별 스프링백 해석 정도

스프링백 정도는 스프링백 해석 결과와 판넬 측정결과의 차가 판넬 조립 공차인 $\pm 0.5\text{mm}$ 이하면 O.K 그렇지 않을 경우는 N.G로 판단하여 전체 측정 위치 개수와 O.K 개수의 백분율로 나타내었다.

8개 인자에 대한 스프링백 해석 결과 정도가 가장 높은 것은 인자(8)로서 74%였다. 각 인자에 대한 스프링백 해석 정도는 Fig. 3과 같다.

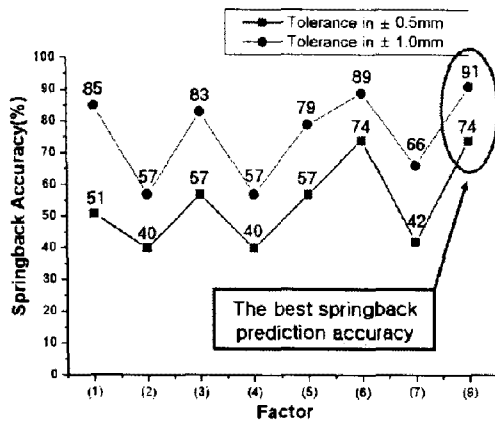


Fig. 3 Springback prediction accuracy at each factors

2.2.2 각 인자별 영향도 분석 결과

각 인자별 영향도 분석 결과, OP10 어댑티브 메쉬 레벨(OP10 AML) 39.6%, 캠 옵셋 35.2%, 두께방향 보간점 개수(GIP) 22.2%, OP30 어댑티브 메쉬 레벨 1.2%의 순서로 영향도가 높았다. 그러므로 스프링백 해석 정도를 위해 최적화된 입력 조건은 OP10 AML 높을수록, OP30 AML 높을수록, GIP가 클수록, 캠 옵셋을 한 경우이며, 인자(8)과 일치하였다. 인자 영향도 분석 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Factor affect at each factors

Factor	A	B	C	D	E	F	G	Accuracy (%) in tolerance $\pm 0.5\text{mm}$	Accuracy (%) in tolerance $\pm 1.0\text{mm}$
	OP10 AML	OP30 AML	AxB	GIP	OP30 Cam Offset	BxD	BxL		
(1)	2 (4-2)	3 (2-1)		5	18%			51	85
(2)	2 (4-2)	3 (2-1)		7	8%			40	57
(3)	2 (4-2)	4 (2-1-4.5)		5	18%			57	83
(4)	2 (4-2)	4 (2-1-4.5)		7	8%			40	57
(5)	3 (4-2-1)	3 (1)		3	8%			57	79
(6)	3 (4-2-1)	3 (1)		7	18%			74	89
(7)	3 (4-2-1)	4 (1-4.5)		5	8%			42	66
(8)	3 (4-2-1)	4 (1-4.5)		7	18%			74	91
Factor Affect(%)	39.6	1.2	1.4	22.2	35.2	0	0		

3. 스프링백 해석 정도 향상

3.1 주인자에 대한 세부 조건별 해석 수행

스프링백 해석 정도를 높이기 위해서 다음과 같이 주인자에 대한 세부 조건별 해석을 수행하였다. 4개의 입력 조건 중 영향도가 가장 높은 OP10 AML의 경우 4수준에 대해, OP30 AML은 영향도는 낮지만, OP10 AML과 OP30 AML 상호작용 존재하므로 OP30 AML 5수준에 대해, GIP와 캠 옵셋도 영향도가 높으므로 각각 5, 11, 48(최대 입력값)과 판넬 두께의 5%, 15%인 경우에 대해 세부 해석 후 결과 분석하였다. 추가적으로 기존 4개 입력값에 포함되지 않았지만 중요한 캠 성형 속도, 캠 마찰력에 대해서도 추가 해석하였다.

3.1.1 캠 옵셋에 대한 영향

캠 옵셋량은 판넬 두께의 5%, 10%, 15% 중 10%일 때 스프링백 해석 정도가 가장 높으며 해석시간 차이는 거의 없었다. 캠 옵셋량에 따른 스프링백 해석 정도는 Fig. 4와 같다.

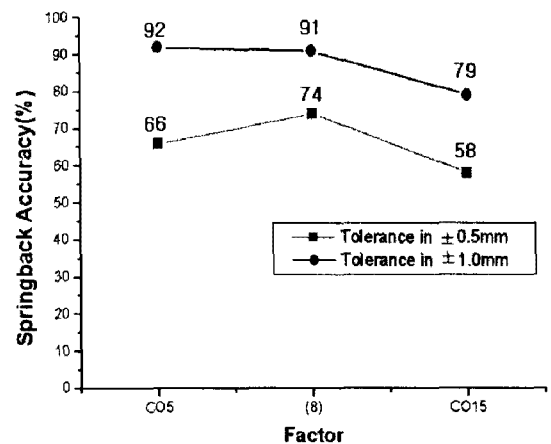


Fig. 4 The effect of cam offset to springback prediction accuracy

3.1.2 두께방향 보간점에 대한 영향

GIP에 따른 스프링백 해석 정도 영향은 미미하며, GIP가 48(Pamstamp 2G 최대 입력 가능 개수)인 경우 GIP 7보다 해석 소요 시간 약 2배정도로 많았다. 스프링백 해석 정도는 오차 $\pm 0.5\text{mm}$ 범위에서 GIP가 5인 경우와 GIP가 7인 경우의 스프링백 정도가 74%로 동일하지만, GIP가 7인 경우의 표준편차가 0.6562로 GIP가 5인 경우의 0.6582보다 더 낮아 스프링백 해석 정도 안정성

이 좋았다. GIP 에 따른 스프링백 해석 정도는 Fig. 5와 같다.

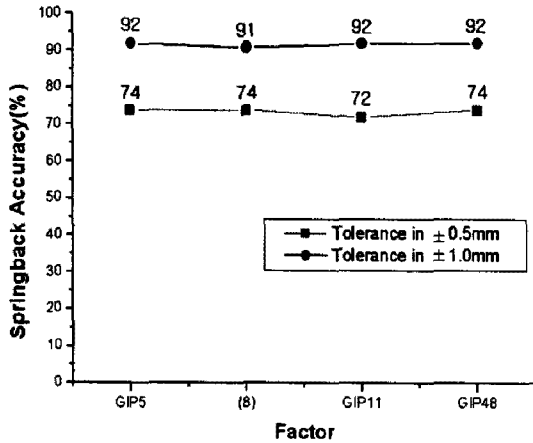


Fig. 5 The effect of GIP to springback prediction accuracy

3.1.3 캠 속도에 대한 영향

일반적으로 캠 속도가 낮을수록 스프링백 정도는 높아지나 해석시간이 많이 소요되는 문제점이 있다. 스프링백 해석 정도와 시간을 모두 고려한 캠 속도는 5m/s가 가장 적절하였다. 캠 속도에 따른 스프링백 해석 정도는 Fig. 6과 같다.

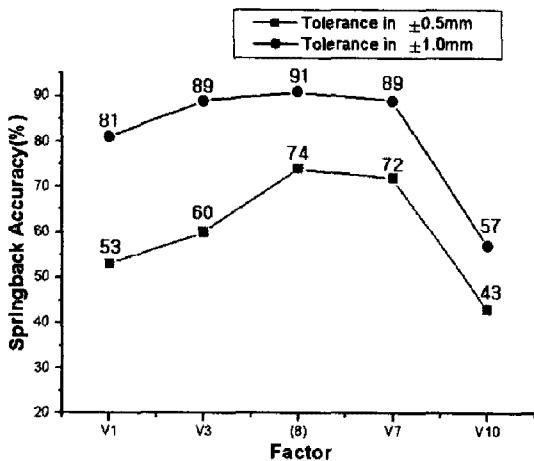


Fig. 6 The effect of cam stamping velocity to springback prediction accuracy

3.1.4 캠 마찰력에 대한 영향

전체적으로 해석 결과가 실제 결과보다 스프링백이 작은 경향을 나타내어 해석상 스프링백을 크게 하기 위해 마찰력을 0.1에서 0.05로 낮추

어 해석하였다. 그 결과 판넬 조립 공차인 $\pm 0.5\text{mm}$ 기준으로 Table 3과 같은 조건에서 스프링백 해석 정도가 81%, $\pm 1.0\text{mm}$ 기준으로 92%가 되었다.

Table 3 The input condition of springback prediction

OP10		OP30		
Mesh Size (AML)	GIP	Cam Offset	Mesh Size (AML)	Cam Friction
4→2→1(3)	7	10%	1→0.5→0.25(3)	0.05

4. 결론

6시그마 다구찌 방법을 이용하여 스프링백 해석 주요 입력값에 대한 인자 영향도 분석을 한 후 실제 멤버 파트에 대해 해석과 T/O 결과를 비교, 분석한 결과 다음과 같은 결론 얻었다.

- (1) 해석 결과가 실제 판넬 결과보다 스프링백이 작게 발생하는 경향이 있어 해석상 스프링백을 크게 하는 입력값 조정작업이 필요하다.
- (2) 일반적으로 최종 메쉬 크기가 작을수록 스프링백 해석 정도가 높아지는 경향이 있다.
- (3) 두께방향 보간점 개수는 7개, 캠 속도는 5m/s가 스프링백 해석 정도 및 해석 시간 효율성에서 가장 적절하다고 사료된다.

참고 문헌

- [1] H. Yao, S.-D.Liu, C.Du, Y.Hu 2002, Techniques to Improve Springback Prediction Accuracy Using Dynamic Explicit FEA Codes, SAE Technical paper No.2002-01-0159.
- [2] K. Li, R. H. Wagner, 1998, Simulation of Springback, Simulation of Material Processing : Theory, Methods and Applications, Huetink and Baaijens (eds), pp. 21~31.
- [3] K. Mattiasson, P. Thilderkvist, 1995, Simulation of Springback in sheet metal forming, Simulation of Material Processing : Theory, Methods and Applications, Shen & Dawson (eds), pp. 115~124.
- [4] K. Li, R. H. Wagner, 1998, Simulation of Springback, Simulation of Material Processing : Theory, Methods and Applications, Huetink and Baaijens (eds), pp. 21~31.