

시뮬레이션 설계공법의 최적화

이종문* · 박인천** · 김영주**

Optimization of Design Planning with Tool Simulation

J. M. Lee , I. C. Park, Y. J. Kim

Abstract

The die development of the high-strength steel sheet has big difference on the formability compared with the general panels. Especially, the springback after stamping of the high-strength steel sheets shows big problem. In this study, for the die development of the high-strength steel sheets, write about examples reducing the lead time and the expense of the die development after CAD modification with the result of the springback analysis after finding the best design planning as several times stamping analysis.

Key Words : Springback(스프링백), High-strength steel sheet(고장력강판), Design planning(설계공법), Stamping analysis(스탬핑 해석)

1. 서 론

최근 자동차 업계에서는 자동차의 경량화, 승객의 안정성적인 측면에서 자동차 white body 에 고강도의 강판을 적극적으로 적용하고 있는 추세이다. 이러한 추세에 대하여 강판의 강도가 높을수록 성형성이 저하되어 크랙과 주름 등의 발생에 대한 대응이 매우 어렵다. 따라서 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션은 설계전에 진행하는 예비성형으로써 현장 트라이 아웃 전에 성형 트러블을 예측하여 이를 설계에 반영함으로써 현장 트라이 아웃 시 발생하는 성형 불구합등의 문제점을 최소화하고 최적의 드로우 공정조건을 제시함으로써 개발비용과 시간을 절약할 수 있다.

이러한 프레스 가공에서의 불구합 현상들 중에 스프링백양 증가로 치수 정밀도의 제어가 어려워 복잡한 형상 및 정밀성형이 요구되는 부품에 적용하기에는 한계가 있다. 스프링백 현상은 다양한 형태로 발생하며 여러 인자들에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 이전 연구에 의하면 스프

링백 현상에 영향을 주는 인자로서 블랭크 홀딩력, 펀치속도, 소재의 두께, 재료의 물성치 그리고 금형형상 등이 있으며, 그밖에 마찰이나 윤활상태와 같은 여러가지 인자들이 복합되어 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 스텝핑 상용해석 프로그램인 PAM STAMP 를 사용하여 자동차 패널에 대하여 성형해석으로 초기 공법부터 적용하여 여러 차례의 드로우 성형해석과 스프링백 해석을 진행하여 각각의 결과를 원래의 차체제품에 변형된 결과치를 적용하여 제품변경을 진행하였다. 특히, 드로우 공법으로 발생하는 스프링백 등에 대한 문제점들을 사전에 없애기 위하여 포밍공법을 주공법으로 시뮬레이션하여 성형시 금형에 사용되는 스프링력에 의한 패널 변형등을 관찰하고, 바인딩 상태에서의 압력과 성형 스트로크별로 압력을 다르게 하여 스프링백등의 변형량을 확인하여 최적의 성형성이라고 판단될 때 설계 및 제작을 진행하여 스프링백과 같은 성형불구합 줄여서 개발기간과 비용을 절감한 한 사례에 대하여 기술하고자 한다.

* CE & T

** GM Daewoo auto & technology

2. 공법 검토와 설계해석

2.1 설계공법

Fig. 1 은 해석패널의 초기공법 안을 나타내고 있다.

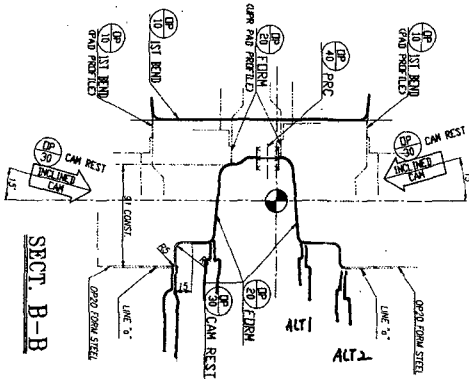


Fig. 1 Design planning method of stamping panel

해석을 진행하는 longi-rear 제품은 편치의 폭이 좁고 “S”자형과 유사하게 길게 성형을 시키는 제품으로서 스프링백에 대한 대책이 어느 패널보다도 중요하게 검토되어야 할 제품이다.

특히, 폭이 좁기 때문에 제품의 구간별 형상 단차에 의한 주름발생의 정도가 심하게 예측되기 때문에 시뮬레이션으로 이러한 주름을 초기에 없앤 후 설계 및 제작을 진행해야 한다. 또한 springback 과 springgo 에 대한 대책을 시뮬레이션 결과로 최적의 상태를 만들기 위해서 초기에 4 가지 방법에 의한 설계안으로 검토하였다. 첫 번째 설계안은 초기 블랭크를 최종 제품의 바닥 플랜 지면을 초기에 pad profile 에 의해서 30mm 정도 free bending 한 후 두 번째 금형에서 upper pad profile 에 의해서 forming 을 시키는 방안이고, 두 번째 설계안은 초기 블랭크를 성형이 진행되는 스트로크에 따라서 압력을 변화시켜서 upper pad profile 에 의해서 forming 하는 방안, 세 번째 설계안은 1st draw 에서 60mm 정도를 성형시킨 후 2nd draw 에서 최종 스트로크로 성형시키는 것이고, 네 번째 설계안은 1st draw 에서 드로잉을 한 후 2nd draw 에서 리스트라이크 형태로 성형을 완료 시키는 방안이다.

* CE & T

** GM Daewoo auto & technology

2.2 드로우 공정해석

Fig. 2 는 성형 후 제품에 발생할 수 있는 성형 불구합 현상들을 그림으로 나타낸 것이고, Table 1 은 불구합 내용들을 나타내고 있다. Fig. 1 에서 보는바와 같이 폭이 좁고 성형길이가 길기 때문에 B 부분과 C 부분에서 형상 단차에 의한 심한주름이 예측된다. A 부분은 스프링백을 줄이기 위한 방안으로 제품측벽에 형상 비드를 설치한 것이다.

D 부분은 성형길이 방향을 기준으로 좌우 뒤틀림이 발생하는 현상을 표현하였다.

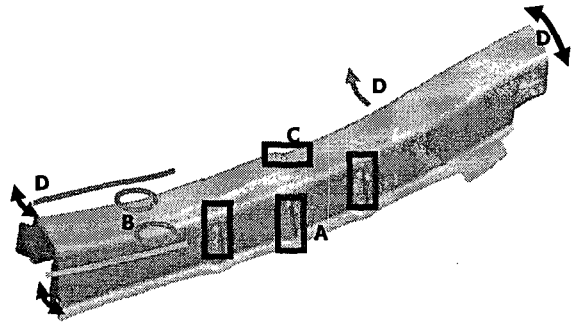


Fig. 2 Prediction of stamping error

Table 1 Prediction contents of stamping analysis

A	Wrinkle
B	Wrinkle
C	wrinkle
D	Springback and springgo

Fig. 3 은 성형해석을 하기 위해서 작성된 die 와 blank 의 FE 모델과 가변적인 압력적용을 나타내었다.

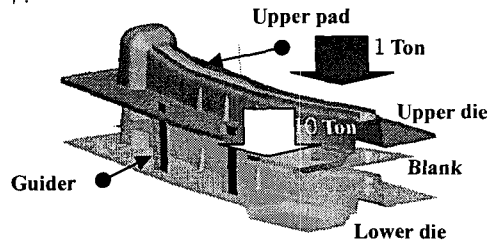


Fig. 3 FE model of tool and blank

Fig. 3 을 보면 성형 60mm 까지는 1ton 의 압력 이 작용하게 하고 스트로크 61mm 부터는 10ton 의 스프링력이 작용하도록 전체 스트로크부터 거리를 시간으로 설정 한 후 해석을 진행하였다. Fig. 4 는 와 Fig. 5 는 성형해석결과를 나타내었다.

Fig. 4 는 자중해석결과 블랭크가 자중에 의해서 금형밖으로 떨어져 나가는 현상으로 나타나기 때문에 시뮬레이션에서도 블랭크를 가이드 할 수 있는 gauge 가 필요하며, Fig. 5 에서는 초기모델 해석결과 패널의 특성상 주름발생이 심하게 나타났다.

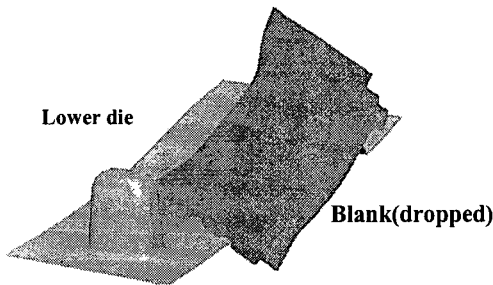


Fig. 4 Dropped blank after gravity evaluation

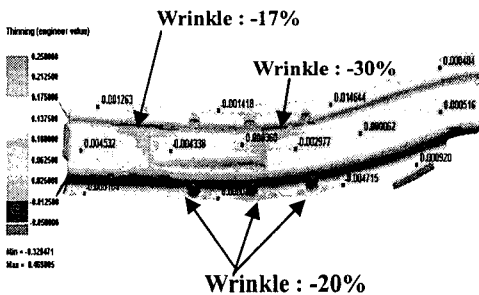


Fig. 5 Distribution of wrinkle after the first analysis

2.3 제품변경 및 공정해석

1 차 모델을 대상으로 실시한 성형해석결과 성형길이에 따른 형상 단차로 인하여 심한 주름이 발생되었고, 제품측벽부에 설치한 형상비드에 심한 주름이 발생하여 원래의 제품을 CAD 변경하여 2 차 성형해석을 진행하였다. Fig. 6 은 심하게 주름이 발생한 “X”와 “Y”부분의 제품이 변경된 CAD 모델을 나타내었다. 그리고 측벽형상 비드의 R 의 크기도 R8 에서 R5 로 변경하여 성형이 되면서 작은 R 로 훑어내리는 성형으로 유도하였다. Fig. 7 은 스프링백을 줄이기 위해서 펀치 어깨부의 R 과 다이 R 부의 크기를 R8 과 R5 를 R5 와 R3 으로 변경을 나타내었다.

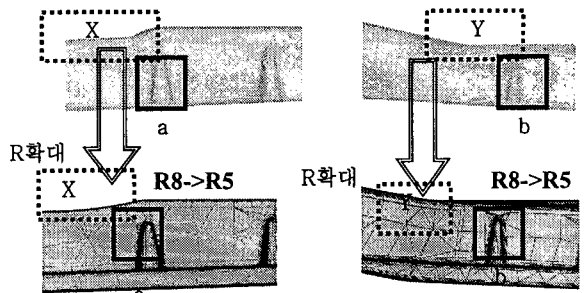


Fig. 6 Modification of CAD model

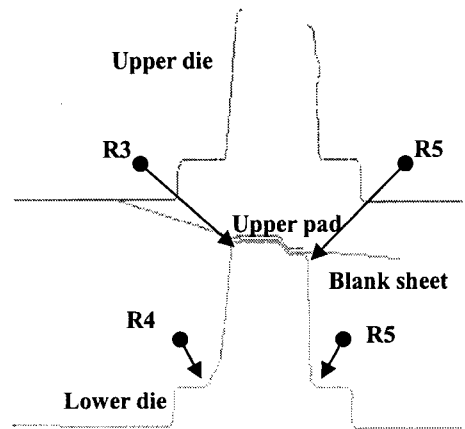


Fig. 7 Modification of CAD model

Fig. 8 은 심한 주름이 발생하여 제품 R 을 변경하고 금형펀치 펀치어깨부와 다이 R 부를 CAD 변경하여 해석을 실시한 결과로써 초기모델해석보다 주름이 크게 줄어들었음을 알 수 있다.

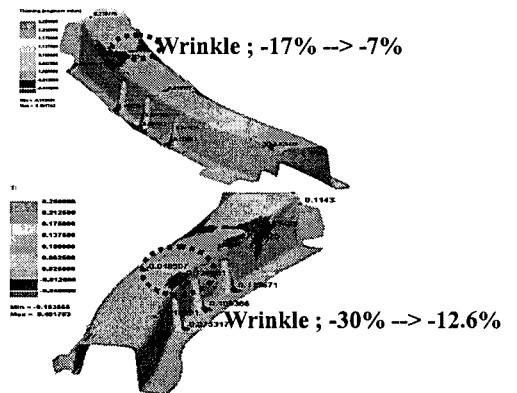


Fig. 8 Distribution of wrinkle after the second analysis

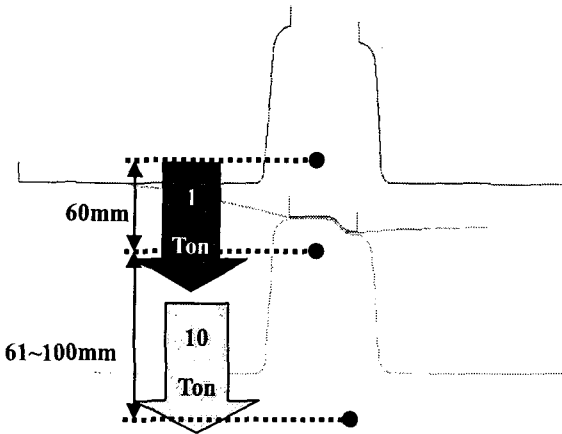


Fig. 9 Variable pressure per stroke

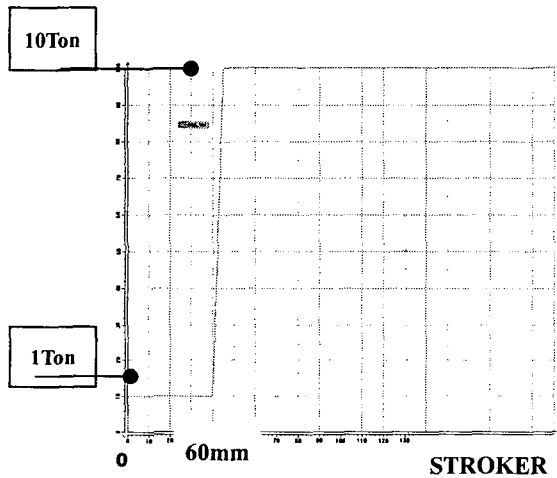


Fig. 10 Pressure graph per stroke

Fig. 9는 성형해석을 하면서 최적설계안을 도출하여 스트로크에 따른 스프링력의 적용을 나타내었고, Fig. 10은 스트로크별 적용되는 압력을 그래프로 나타낸 것이다. 즉, 스트로크 60mm 성형까지는 1ton으로 작용하도록 하고, 스트로크 성형 61mm부터는 10ton의 스프링력이 작용하도록 좁은 공간에서 이러한 압력들이 작용 가능하도록 스프링을 선정하는 것이 매우 중요하다.

2.4 스프링백 해석

Fig. 11은 1차 성형해석후 스프링백 해석결과를 나타내었고, Fig. 12는 제품을 변경한 후 스프링백 해석결과를 나타내었다. 해석결과 springback과 springgo가 좌우를 기준으로 대칭하는 형태로 나타났다. 즉 이것은 드로잉 공법과는 차이가 나

는 결과인 것으로 예측된다.

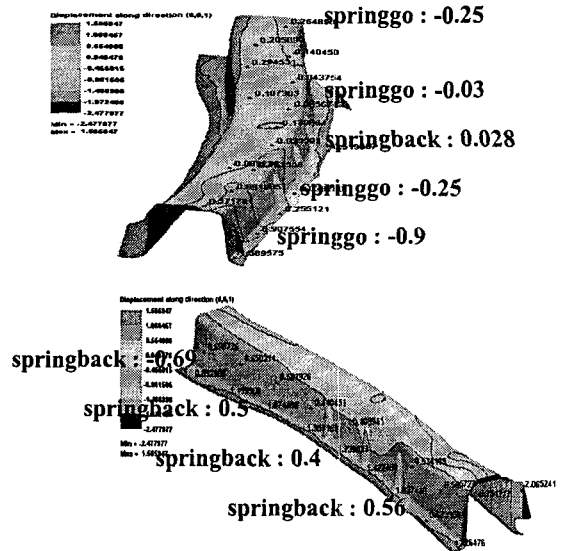


Fig. 11 Springback & springgo after the 1st analysis

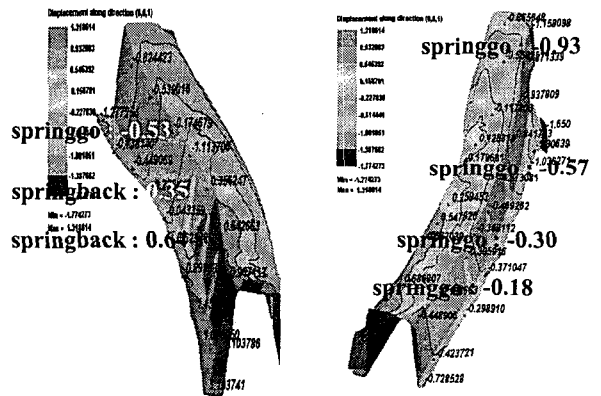


Fig. 12 Springback & springgo after modification

Fig. 11과 Fig. 12를 비교해보면 1차 해석결과에서는 제품의 좌우를 기준으로 springback과 springgo가 확연하게 분리되는 경향으로 나타났는데 CAD 모델을 수정한 후 해석한 결과에서는 springback과 springgo가 적절하게 분포되는 경향으로 나타났다.

2.5 공법변경 해석

여러 번의 성형해석과 스프링백 해석의 결과를 기준으로 초기블랭크를 제품 바닥면 플랜지를 30mm free bending을 시킨 후 2차 공정에서 forming으로 최종 설계안으로 변경하여 해석을

진행하였다. Fig. 13 은 30mm free bending 을 위한 blank 와 tool 의 FE 모델을 나타내고 있다.

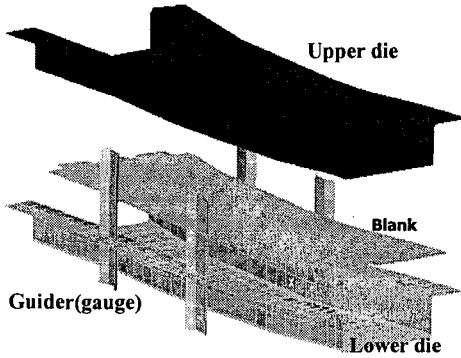


Fig. 13 Tool position for 30mm free bending

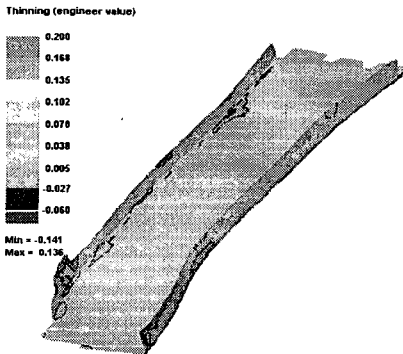


Fig. 14 Distribution of thinning (30mm free bending)

Fig. 14 는 30mm free bending 후의 판넬의 형상을 나타내었다. free bending 을 하는 성형에서는 큰 성형상의 문제는 없는 것으로 나타났다.

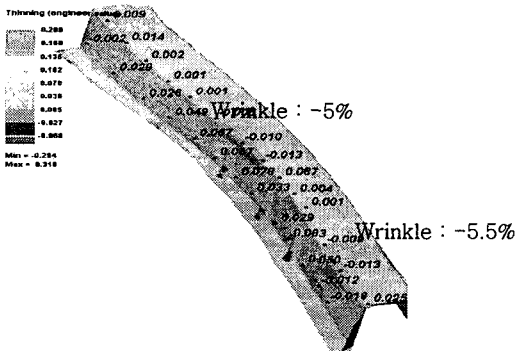
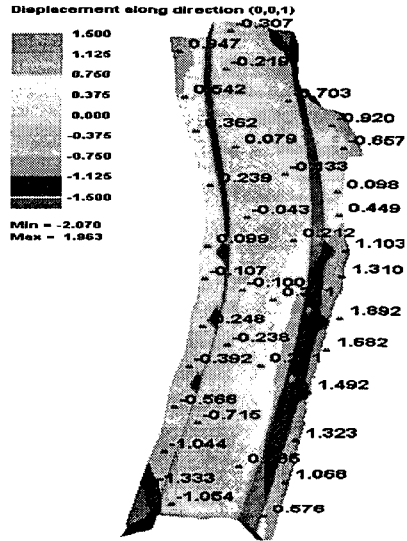


Fig. 15 Distribution of wrinkle after the last simulation

Fig. 15 는 최종성형을 진행한 해석결과이다, 해석결과를 분석해보면 주름발생이 큰 부분의 주름발생의 정도가 1 차 해석모델에서 최고 30%에서 5%내외로 줄어든 결과로 나타났다.



springback : 0.046

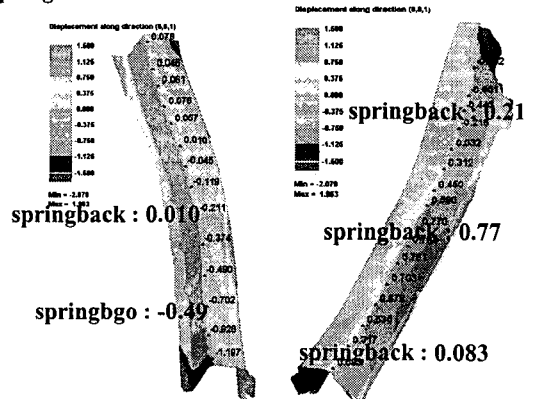


Fig. 16 Springback & springgo after the last simulation

Fig. 16 은 최종 성형해석한 모델을 스프링백 해석을 한 결과이다. 스프링백 해석결과를 분석하면 springback 과 springgo 의 최고값이 1.5mm ~ -1.5mm.,로 나타났다. 이러한 최고값과 최저값은 제품의 양끝단의 일부분에서 나타난 결과이기 때문에 대부분의 springback 값들은 0.01mm ~ 0.7mm 까지 나타났고, springgo 값들은 -

0.045mm ~ -0.7mm 의 값으로 나타났다.

2.6 트라이아웃 제품생산

Fig. 17 은 시뮬레이션 결과에 의해서 설계하여 금형개발한 현장 트라이아웃으로 제품이다.

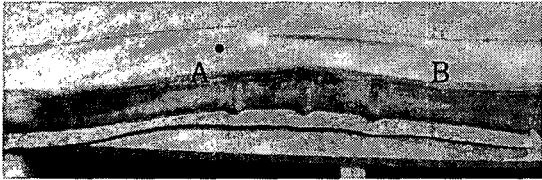


Fig. 17 Try out panel

생산된 제품은 초도 트라이아웃으로 생산되었지만 성형 및 스프링백 해석으로 사전에 성형불구합 현상을 감소시켰기 때문에 제품상으로 치명적인 문제는 없는 것으로 평가되었다.

특히, 초기 설계안의 성형해석결과 매우 심한 주름이 발생한 “A”부와 “B”부는 크게 문제가 없는 것으로 나타났다. 또한 스프링백의 저감을 위해서 설치한 측벽부 형상비드도 초기 설계안 해석에서는 주름의 발생 정도가 매우 심하게 나타났었는데 Fig. 18 에서 보는바와 같이 많이 개선된 것으로 나타났다.

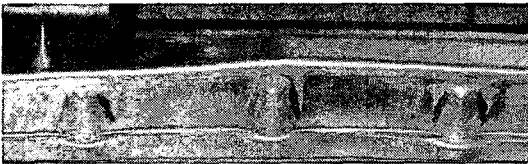


Fig. 18 Detail of bead part

2.7 두께 측정

Fig. 19 는 트라이아웃으로 생산된 패널을 두께 측정을 하기 위한 측정부분을 나타내었고, Table 2 는 제품측정과 해석에 의해서 측정된 두께변화를 비교하여 나타내었다.

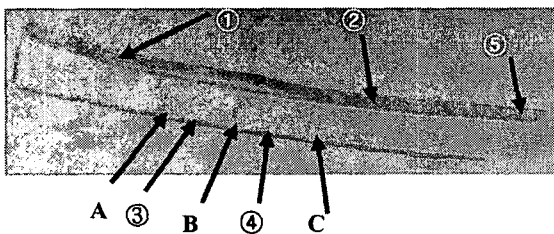


Fig. 19 Measurement points for distribution of thickness

Table 2 Distribution of thickness

	현장패널	해석패널
①	1.46	1.48
②	1.39	1.39
③	1.39	1.39
④	1.43	1.42
⑤	1.39	1.39
A	1.45	1.42
B	1.41	1.42
C	1.42	1.49

Table 2 에서 보면 소재두께의 변화에 대해서는 현장패널과 성형해석으로 생산된 패널은 치수적으로는 비교적 안정된 결과를 나타내고 있는 것으로 평가된다.

2.8 스프링백 측정

Fig. 20 은 스프링백을 측정하기 위해서 제품의 측정 단면을 표시한 것이고 Fig. 21 은 단면 A-A 에서 CARLINE 의 BL 방향으로 현장패널과 스프링백 해석의 결과를 측정하기 위한 검사구와 패널의 setting 모양을 나타내었다.

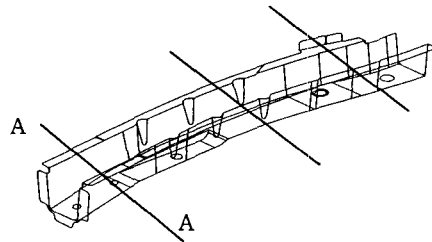


Fig. 20 Measurement section of springback

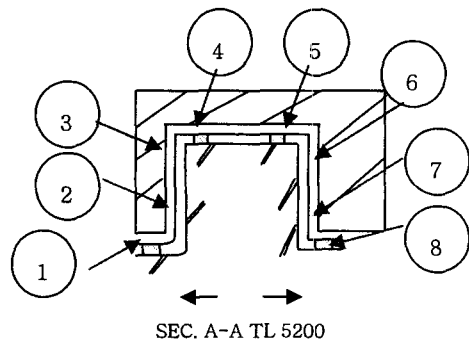


Fig. 21 Measurement point of springback

Table 3 Result value of springback

	현장패널	해석패널
①	-1.0	0.1
②	-0.5	-0.3
③	0.1	-0.3
④	-0.6	-1.1
⑤	-0.2	-1.5
⑥	0.2	-0.2
⑦	0.4	0.1
⑧	-0.7	-0.8

Table 3은 현장패널과 스프링백 해석패널의 측정된 결과값을 나타내었다. 일반적으로 스프링백 값은 아주 작은 값을 가지다. 해석하지 않고 개발한 경험에 의하면 아주 작은값의 정확도도 중요하지만, springback 과 springgo 의 방향성도 중요할 것으로 본다. 즉, 방향성이 생산된 패널에 복합적인 형태로 나타나면 금형을 수정하는 데에 있어서 많은 시간적인 소비가 이루어진다. 실제로 패널은 성형이 진행되면서 높은 압력과 고열 발생으로 인하여 응력의 변화가 순간순간 커지고 작아지고 하는 변화가 매우 심하기 때문에 일관된 방향성을 잡기란 매우 힘들다. 따라서 낮은 금형제작 비용과 짧아지는 납기에 대응하기 위해서는 지금까지의 설계 및 현장 경험을 바탕으로 데이터베이스를 만들어서 컴퓨터를 이용하여 가상생산에 의한 성형성평가부터 시뮬레이션을 해야하는 이유가 여기에 있다고 본다.

3. 결론

현장 트라이아웃에 의해서 얻어지는 스프링백 값들은 여러 수치적인 값으로 나타난다.

성형해석과 스프링백 해석에 의한 결과값들이 실제 제품 트라이아웃으로 얻어진 패널의 결과와 다소 차이가 있지만, 본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 초기에 엔지니어에 의해서 예측하는 여러 가지의 설계안들을 컴퓨터 시뮬레이션으로 초기 공법부터 적용하여 심한 주름 등의 불구합 발생이 예측되는 부분의 제품변경을 진행하였다.

(2) 주름이 심하게 발생하는 부분에 CAD 수정을 통하여 성형해석을 진행 한 결과 주름발생이 크게 줄어드는 것을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다.

(3) 최고의 설계안이라고 판단되는 CAD 모델로 성형해석과 스프링백 해석을 한 결과 springback 과 springgo 값들의 분포가 초기모델에 비하여 고르게 나타났고, 결과값들도 작은 값으로 나타남을 알 수 있었다.

(4) 초기 설계안부터 성형해석과 스프링백 해석으로 제품변경 등을 산업체에서 매우 적극적으로 도입한다면 개발기간과 비용절감이 가능하다는 것을 시뮬레이션과 현장제조를 통하여 알 수 있었다.

향후, 본 item을 대상으로 현장 try out을 통하여 얻어지는 패널로 많은 단면에서 두께변화에 따른 측정과 여러부분에서 정밀한 CMM (Coordinate Measuring Machine)으로 측정하고 비교하여 데이터베이스화 가 진행 될 예정이고, 또한 기존 CATIA 등과 같은 CAD 프로그램에 의해서 작성하던 공법적용 모델링을 해석전용 프로그램을 활용하여 설계안 확정 후 공정해석, 스프링백 해석등으로 제품설계 및 금형개발을 진행할 예정이다.

참고 문헌

- (1) K.Mattiasson, A.Strange, P.Thilderkvist and A.Samuelsson, 1995, "Springback in sheet metal forming", NUMIFORM '95, pp.115-124
- (2) F.Pourboghrat and E. Chu, 1995, "Prediction of springback and sidewall curl in 2D-draw bending" Journal of Materials Processing Technology, Vol 50, Issues 1-4, pp.361-374
- (3) N. He and R. H. Wagoner, 1996, "Springback simulation in sheet metal forming", NUMISHEET '96, pp.308-315
- (4) 정기욱, 이종문, 금영탁, 이승렬, 안인혁, 황의정, 박진수, 2004, "자동차 패널 전 스텝 공정 시뮬레이션과 현장 트라이 아웃" 추계학술대회, pp164~167