

금형 개발 기간 단축을 위한 CAE(전공정해석) PROCESS 구축

강동규* · 정인성* · 하광용* · 이성호*

* 쌍용자동차 프레스치공구팀

The Construction of CAE Process for Die Development Period Shortening

D.K.Kang, I.S.Jung, K.Y.Ha, S.H.Lee

(Press Tool Development Team, Ssang Yong Motor Company)

Abstract

The tendency of current die manufacturing is focusing into development period shortening and panel quality improvement. This brings change of manufacturing process. In existing process, depended on experience, we were faced on a limit of sufficiency in this focus. Thus, we have attempted to make a conquest of that by constructing a process of CAE. Our attempt apply not only draw die formability but also trimming and flanging die formability with simulation of sheet metal. In this paper, we publish effects that were obtained by constructing a process.

1. 서 론

오늘날 자동차 산업은 세계적으로 공급과잉이 지속되면서 경쟁이 심화되고 자동차 보유대수의 급격한 증가로 유해물질에 대한 환경규제가 더욱 강화되고 있는 추세이다. 또한 소비자들의 초저연비, 고안정성에 대한 요구가 커지고 있다. 자동차 회사들은 여기에 대응하기 위해 더 빠르게(faster), 더 좋은 품질로(better), 더 저렴한 가격으로(cheaper) 신차 개발 기간을 단축하는데 목표를 두고 있고 신기술 및 신장정 개발에 주력하고있다.

이런 시장환경의 변화는 금형산업 환경의 변화로 이어졌으며 새로운 생존전략이 필요하게 되었다. 신차 개발의 단축은 금형납기 단축으로 직결되며 기존의 현장기술 중심의 process를 통한 시행착오법에 의한 금형 생산으로는 품질향상과 납기단축을 이루기가 어렵다. 수정과 재제작을 통한 개개인의 경험을 객관적이고 정량화된 data로 축적하기는 어려운 실정이다. 최근에는 컴퓨터의 비약적인 발달로 차량개발 및 금형개발에 유한요소법을 사용한 프레스 성형시뮬레이션이 현장에 활용되고 있다. 당사에서도 품질향상 및 금형개발기간 단축을 위한 방법으로 전공정에 대하여 성형해석을 수행하였으며 당사에서 수행하였던 전공정 해석 및 스프링백해석 과정에 대하여 기술하고자한다.

2. 본 론

2.1 전공정 성형해석 Process

Long lead인 금형제작의 단납기와 품질확보를 위해서는 유한요소법을 이용한 프레스 성형해석이 필수적이며 이제는 해석기술의 발달로 성형해석의 신뢰도는 안정적이라 할 수 있겠다. 여러 성형해석 s/ware가 나와 있으며 성형이 까다로운 자동차 Panel의 프레스 성형에 적극 활용하여 금형개발시간을 단축하는데 기여하고 있다. 자동차 차체의 경량소재의 사용량 증가에 따른 고장력 강도의 적용으로 성형해석의 중요성은 더욱 증가하고 있다. 성형해석기술의 확보 및 후 공정 해석의 타당성 검토, Spring back해석의 신뢰도 및 실물적용 가능성에 대하여 검증하고자 Full model을 가지고 전공정 해석 및 Spring back 해석을 수행하여 보았다.

1) Draw formability 해석

자동차 차체 panel은 성형하기 까다로운 부품중의 하나이다. 프레스 박판성형시 대표적인 성형 불량으로 주름(wrinkling), 크랙(crack),스프링 백(spring back)등이며 주름과 크랙은 대립되는 관계로 두 가지를 동시에 해결하는 방안이 필요하다. 또한 주름 및 굴곡은 Try-out시간을 증가시키며, 또한 주름에 의한 금형의 마모에 의해 생산성이 떨어지며 반복되는 T/out 및 금형수정에 추가 M/H가 소요된다. 이러한 문제들의 해결 방안으로 모색되어진 것이 형형성에 대한 예측이었고 이 요구를 충족시키기위해 박판성형에 해석기술이 도입되어졌다. 이러한 과정의 결과 및 발달로 Draw금형에 대한 formability는 이제 안정적이라 할 수 있겠다

이제부터 Ls_dyna를 이용한 전공정 해석 과정에 대하여 알아보겠다. 해석 Item은 Fender Panel로써 Draw 해석(Gravity → Binderwrap → Drawing),Trimming해석, Flange해석, Cam-Flange해석을 수행하였다.

먼저 Draw공정 Formability해석으로 블랭크 물성은 CHSP35R 0.7t를 사용하였으며 1989년도에 Barlat과 Lian에 의해 개발된 이등방성 박판재료용 MATERIAL TYPE 36을 사용하여 Lankford parameter를 고려하였으며, Hardening Rule은 exponential방법을 사용하였다. Table 1은 Drawing 해석 조건이다.

Table 1 성형해석 조건

재 질	재료t	Holder Force	Integration point	Friction	Binderwrap 속도	Forming 속도
CHSP35R	0.7 mm	1000 KN	5	0.15	2000 mm/sec	2000 mm/sec

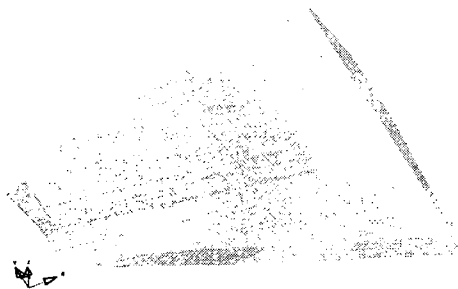


Fig. 1 Gravity상태

Fig. 1은 자중해석(Gravity)을 수행한 결과이다. Otr panel은 자중해석이 중요시 되고 있으며 이때의 굴곡이 최종 제품에 영향을 주는 경우가 있다. Dr otr의 경우처럼 Blank의 면적이 클 때 Gravity시의 미세한 꺾임이 굴곡으로 이어진 사례가 있다. 자중해석에 대한 정확한 검증이 필요할 것으로 보인다.

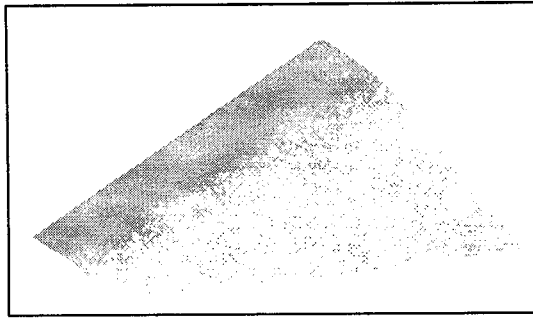


Fig. 2 Binding 상태

Fig. 2는 Binderwrap해석을 수행한 결과로 Binding 과정시의 굴곡이 형상굴곡으로 이어지는 사례가 빈번하여 Binding시 Die의 속도를 2000mm/sec로 하여 굴곡의 유무를 확인하는 과정을 거쳤다.

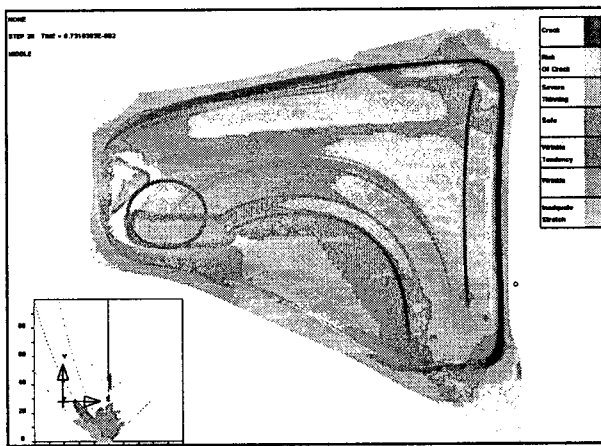


Fig. 3 1차 Forming상태

Fig. 3은 Forming해석이 완료된 상태이다. 후 공정 해석 및 Spring back해석을 위해 Crack 및 Necking등의 성형불량요소를 제거하였다. 국부적인 Crack은 부분 마찰적용으로 현장에서의 부분적인 고온 사상조건과 동일하게 해석에 적용하였다.

Fig. 4는 부분마찰을 적용하여 성형 해석한 결과로 모델수정 없이 Crack요인을 완전히 제거한 상태를 볼 수 있다.

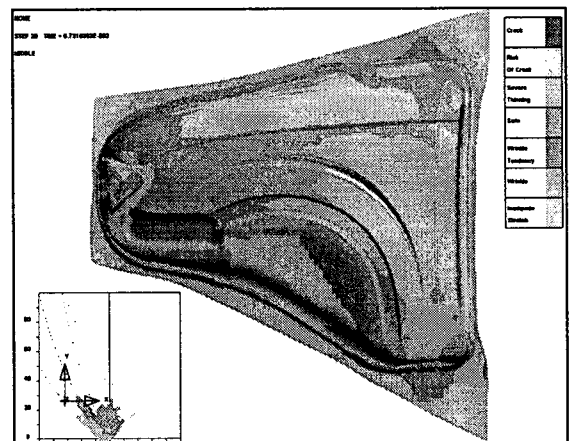
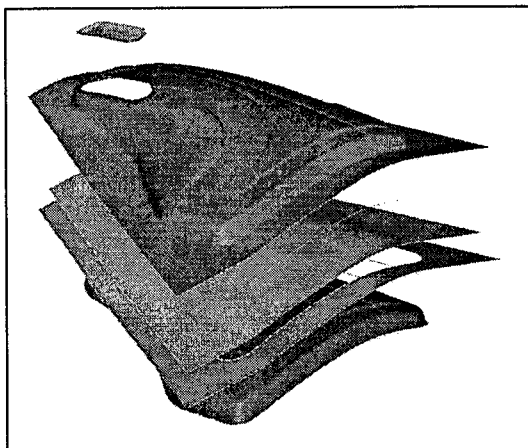


Fig. 4 부분 마찰적용 상태

Draw 금형의 성형변수는 Stuart P. Keeler[Ref 1]에 의하면 윤활(마찰), Holder Force, Blank size, 드로우비드 등을 포함하여 125가지가 된다고 한다. 성형 시뮬레이션에서 이러한 변수를 모두 고려하기에는 불가능하며 많은 변수를 가정하고 중요한 변수만으로 성형해석을 수행하게 된다. 이런 변수들의 Draw공정에 대한 성형해석 기술은 각각의 s/w의 특성에 맞는 기능을 활용함으로써 성형불량요인을 사전예측을 통하여 금형개발 현장에 효율적이고 안정적으로 접목시킬 수 있는 성형업무 Process가 해석을 수행하는 part에서 정립이 되었을 것으로 생각된다.

2) 후 공정 성형해석

2-1) OP20 TRIM 해석

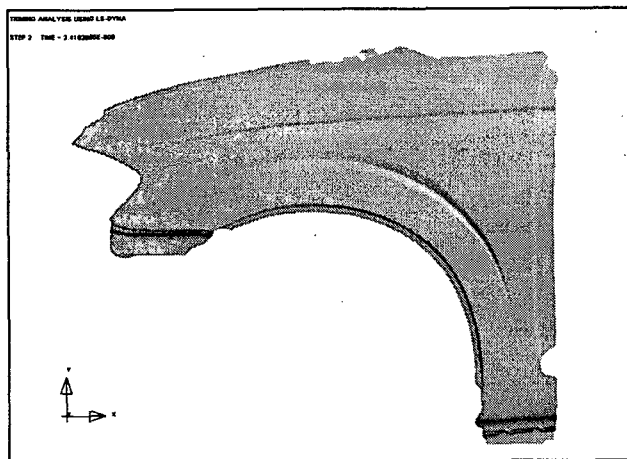


Fig. 5 OP20 TRIM완료 상태

Fig. 5는 Trim해석을 수행한 결과이다.

Trim curve는 3D line을 사용하였으며 Ls_dyna 960에서는 Element normal trim이 되지않아 정확한 Trim line을 구하기 위해 재료t의 반만큼 offset하여 Trim line을 구하였다.

Ls_dyna970에서는 Element normal을 기준으로 프로젝트 되어 Trimming이 수행되어진다. (*DEFINE_CURVE_TRIM_3D) Trim후의 품질은 Adaptive mesh에 따라 좌우되는 만큼 필요 시 부분 Adaptive를 사용함으로써 해결할 수 있다.

2-2) OP30 FL/CAM-FL 해석

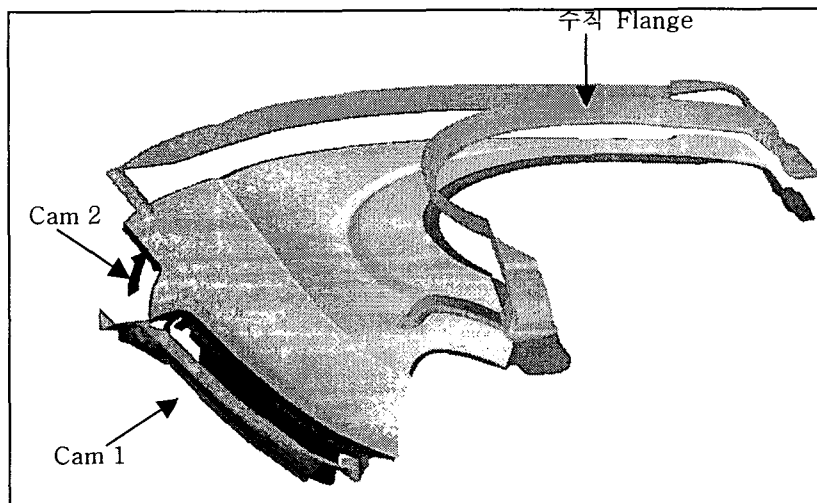


Fig. 6 OP30 Fl/cam-fl Tool 상태

Fig. 6은 수직 Flange구간과 Cam-flange구간의 Tool set' g 상태로 금형도면 상태의 식입 조건 및 Stroke조건을 동일하게 하였다.

성형 DIE의 BOUNDARY MOTION CURVE를 TIME-VELOCITY에서 TIME-DISPLACEMENT로 설정하여 주었다.

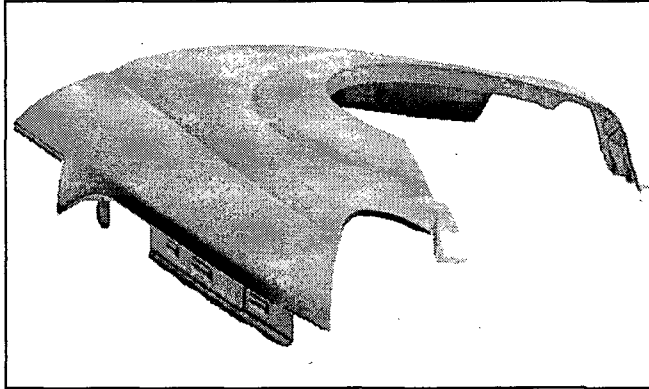


Fig. 7 OP30 Fl/cam-fl 성형완료 상태

Fig. 7은 OP30 Fl/cam-fl성형이 완료된 상태이다.

수직 Flange와 Cam flange가 동시에 성형이 되었으며 Cam flange는 CAM-1, CAM-2로 나누어 성형하였으며 CAM1,2의 식입은 실물과 동일하게 진행하였다.

Fig. 8은 Door otr opening부와 Bumper mounting부의 성형해석결과와 실물과 비교한 그림이다. 굴곡의 형태와 양 및 Flange시의 Crack경향이 유사한 값을 얻을 수 있었다.

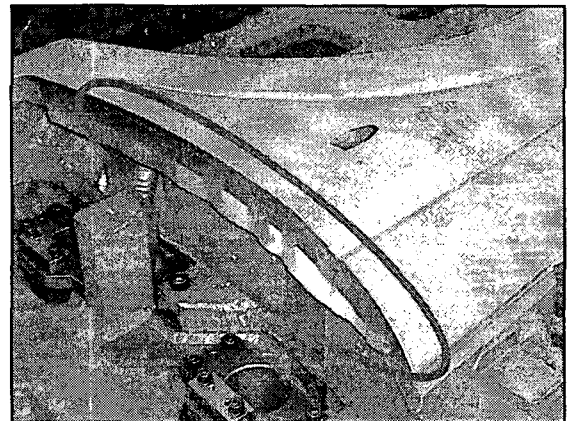
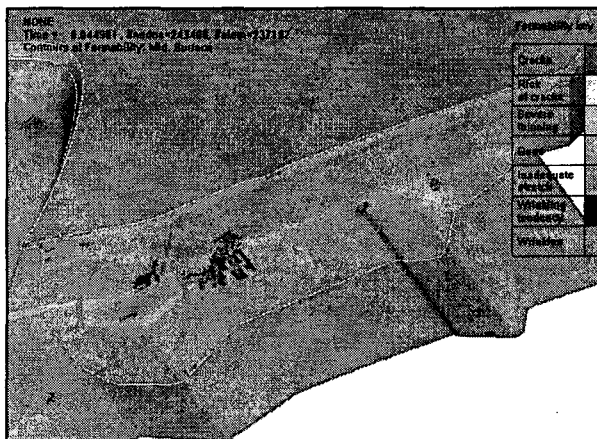
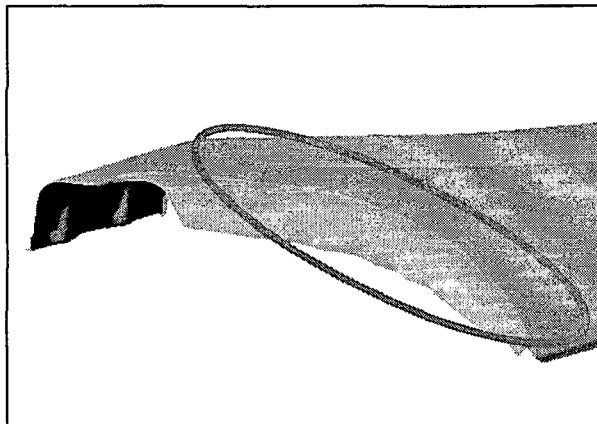


Fig. 8 OP30 Fl/cam-fl 성형해석결과와 실물 비교

2-3) OP40 FL/CAM-FL 성형해석

전공정 연계해석으로 OP30해석결과 DATA를 가지고 OP40해석을 수행하였다. CAM-FL 1, 2로 성형구간이 나뉘어져 있으며 HEAD LAMP 부분에 대한 수직 FLANGE, BUMPER MOUNTING부의 RESTRIKE성형으로 이루어져있다.

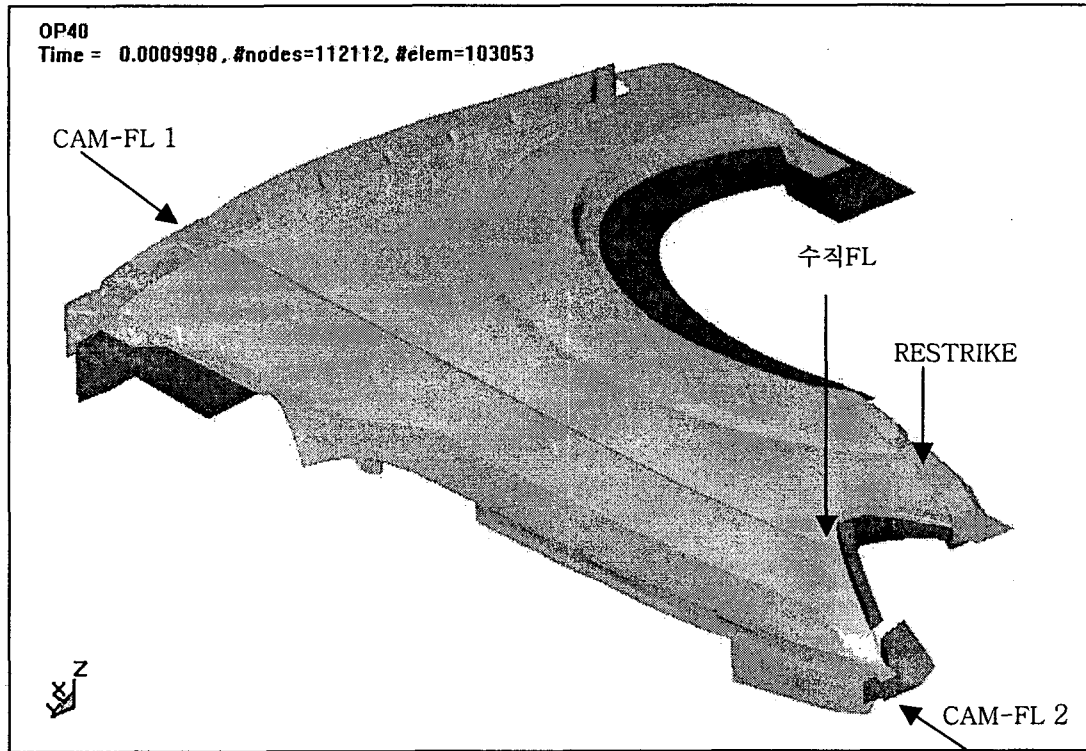


Fig. 9 OP40 FL/cam-fl Tool 조건

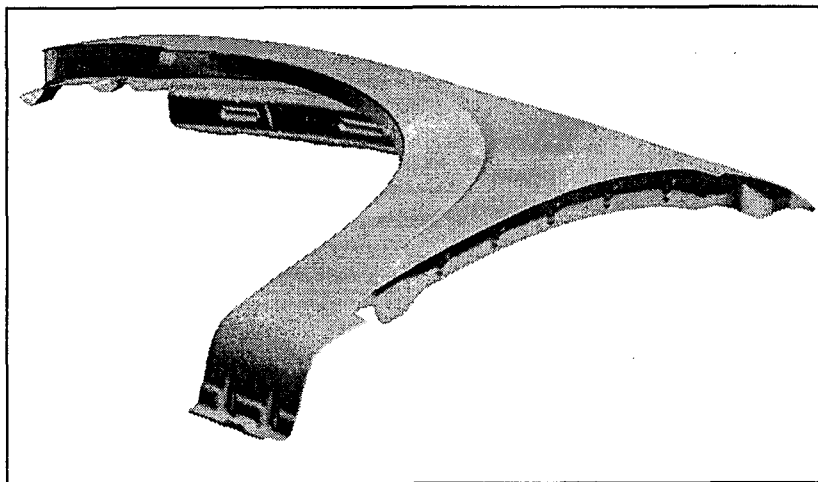


Fig. 10 OP40 FL/cam-fl 성형완료 상태

Fig. 10은 op40공정 성형이 완료된 상태로 전 공정 성형이 완료되었다. 주요관리 사항으로 상형 PAD MOTION CONDITION으로 VELOCITY와 FORCE를 동시에 적용하여 초기 PANEL과 CONTACT시 발생하는 충돌효과를 감소시켰다.

수직 FLANGE와 CAM FLANGE의 MOTION은 TIME-DISPLACEMENT 구속조건을 적용하였다.

주요 성형부위를 실물과 비교하여 보았다. Fig. 11은 OP30(Fig. 8)에서 발생한 주름이 OP40성형해석 결과 제품형상으로 자연스럽게 성형이 이루어진 모습이며 실물 T/out결과도 양호하게 성형이 이루어졌다.

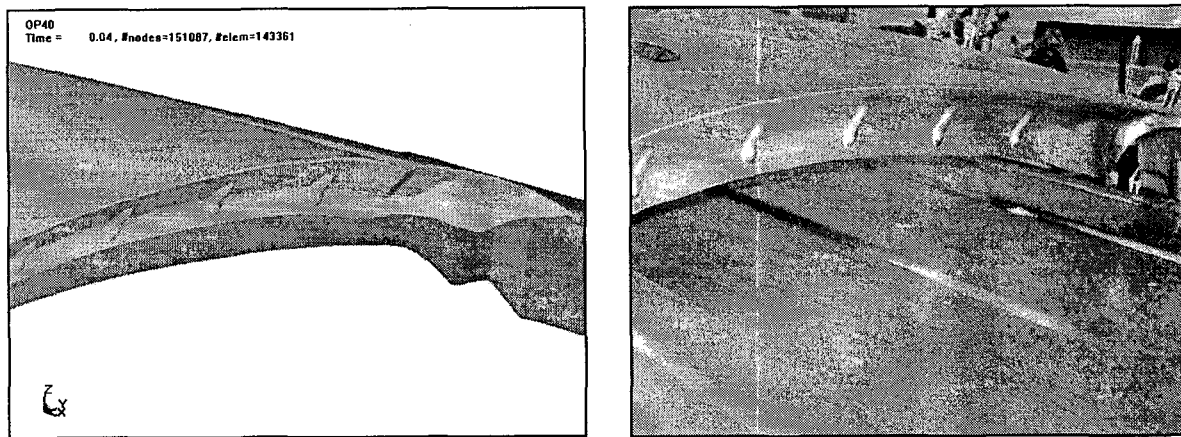


Fig. 11 OP40 FI/cam-fl 실물비교

Fig. 12는 성형해석 시 Crack이 발생한 부분으로 실물에서도 Crack이 발생하였으며 제품 'R' 변경으로 간단히 해결하였다.

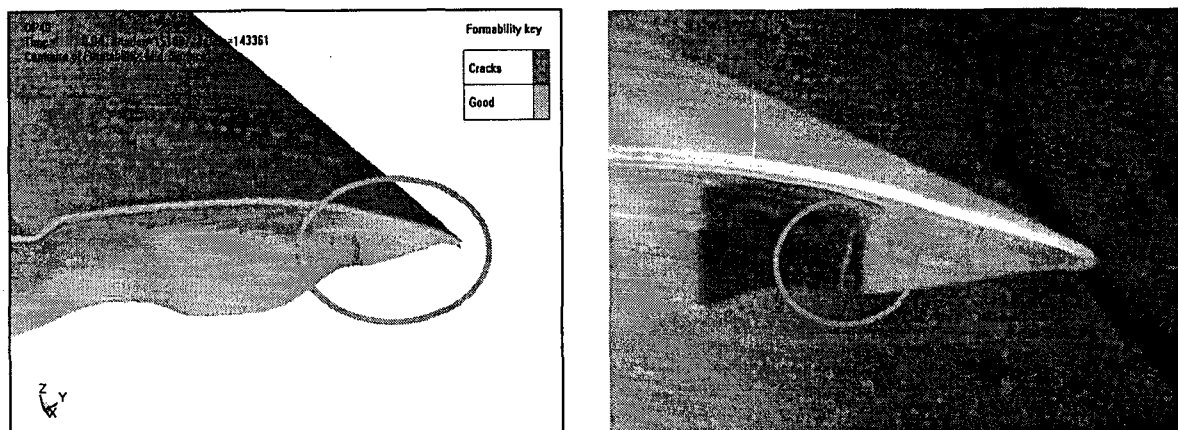


Fig. 12 OP40 FI/cam-fl 실물비교

3) Spring back 해석

박판성형에 있어 Spring back은 Wrinkle, Fracture와 함께 자주 발생하는 결함중의 하나이다. 성형 중 소성변형된 부분이 금형의력(금형 DIE)이 제거되어도 형상이 유지되지만 탄성 변형된 부분은 판재내의 잔류 응력에 의해 형상의 치수가 변하는 스프링백이 발생하고 있다고 한다. 박판의 Spring back에 대한 연구는 1940년대부터 많은 연구가 이루어졌으며 U-벤드 및 S-rail등에 대한 스프링백해석이 주로 이루어졌으며 자동차 Panel의 MBR류에 대한 스프링백해석 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한 스프링백에 영향을 주는

인자 즉 다이 어깨반지름, 편치와 다이의 클리어런스, 재료 Property, 성형방법등에 대해서도 연구가 이루어졌다.

최근에는 자동차 경량화추세로 고장력강판의 사용빈도의 증가로 스프링백의 해석적 접근이 더욱 중요시되고 있다. 치수정밀도 불량에는 스프링백, 스프링고, 벽 찌힘, 비틀림, 형상 동결성 불량 등으로 구분할 수 있으며 스프링백에 대한 해석에 문제점을 알아보면 다음과 같다.

첫째로 박판금형 개발 시에 형상 동결성 및 비틀림(Twist)문제로 Try-out시간이 더욱 증가하고 있는 실정이며 Flange부분에 대한 Spring back량은 금형개발기술자의 경험치로 문제를 해결하고 있으나 형상동결에 의한 결함은 Try-out후 실물을 보고 문제를 해결하고 있다. 비틀림이나 형상면의 스프링백 문제로 Flange부분이나 Trim line에 대한 치수보정작업 또한 어려움을 겪고 있다. U-벤딩이나 S-rail해석만으로는 대형판재에 대한 실물적용에는 어려움이 있으며 대형 판재에 대한 전공정 해석을 통한 실제 Panel에 대한 해석적 접근이 필요하다고 본다.

둘째로 치수정밀도 불량에 대한 측정 기준이 없는 것도 문제이다. 해석상의 결과와 실물과 비교하는 기준을 결정하기가 난해하다. 기준에 따라 스프링백의 경향이 변하여 정확한 측정이 어려운 것이 현실이다.

셋째로 해석 프로그램 자체 및 해석 프로그램별로 많은 오차가 있어 신뢰성에 한계가 있는 실정이다. 신뢰성의 한계로 정량적인 평가보다는 정성적인 평가로 스프링백에 대한 경향을 파악하는데 사용되고 있다.

이런 문제로 현재는 DRAW금형의 가형상이나 성형조건, 금형성형 구조를 통한 치수불량 해결방법에 노력 중이다. 아울러 신뢰성 있는 해석을 위한 파라미터의 Data Base화를 진행 중이다.

Ls_dyna에서는 Spring back 해석을 위해서는 내연적 방법을 사용하여 외연적 방법에서 사용하는 Damping 제어에 의한 결과치의 error를 줄이고 정확한 결과를 얻는다. 스프링백해석을 수렴하기 위해 사용한 Keyword는 다음과 같다.

1) * CONTROL_IMPLICIT_AUTO

Time step을 자동으로 설정하여주는 card를 사용하였다.

2) * CONTROL_IMPLICIT_GENERAL

FORMING해석시의 Explicit method를 Implicit method로 활성화하였다.

3) * CONTROL_IMPLICIT_SOLUTION

Implicit calculation으로 Nonlinear solver를 설정하여 주었고 수렴기준값, 수렴 항상을 위한 card를 사용하였다.

4) * CONTROL_IMPLICIT_STABILIZATION

안정적인 스프링백의 수렴을 위해 사용하였다.

5) * CONTROL_IMPLICIT_SOLVER

Direct solver를 사용하여 해석시간을 단축하였다.

6) * CONTROL_CHECK_SHELL

Bad shell element를 check하여 fixing시킴으로써 수렴성을 높이는 card다.

스프링백 해석시 설정하는 파라미터값에 따라 스프링백량의 오차가 발생하고 있다. 적절한 파라미터의 설정이 되어야만 정밀한 스프링백 해석이 될 것이다.

Fig. 13은 Implicit방법을 이용한 스프링백 결과이며 Fig. 14는 Scale factor를 적용하여 미세 변형부 및 전체적인 변형량을 알아보았다.

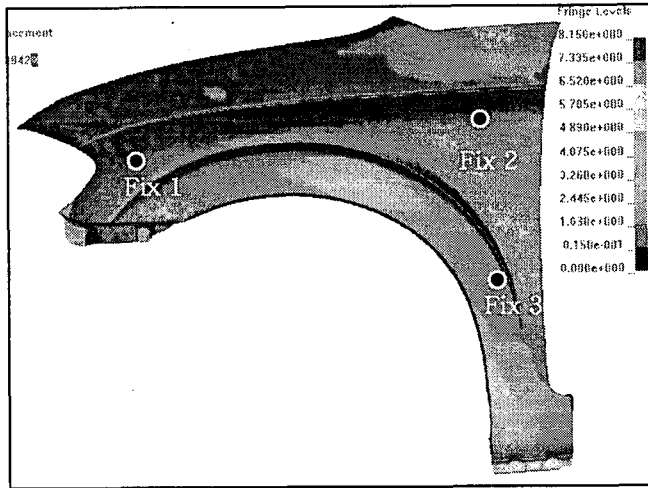


Fig. 13 SPRING BACK해석결과

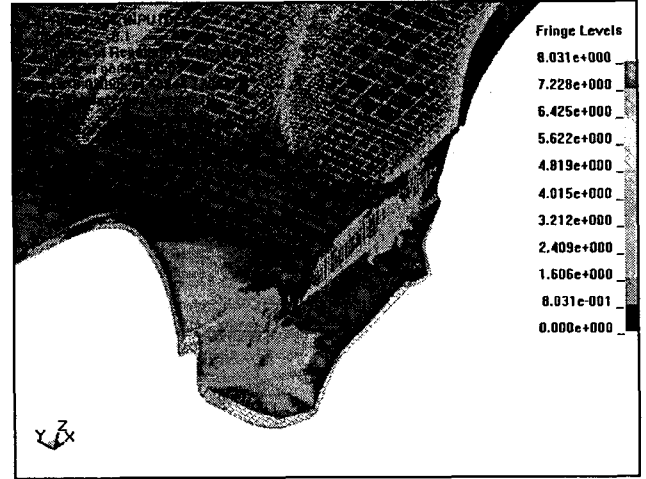


Fig. 14 SCALE FACTOR 적용예

2.3 PANEL 측정방법(SPRING BACK)

1) Reverse engineering을 이용한 Panel 측정방법

리버스 엔지니어링은 실물모형을 정밀하게 복제하여 재현하는 형상 역공학(Shape Reverse Engineering), 역공학(Reverse Engineering) 또는 역설계라고 하며 복제한 Data를 컴퓨터상에 이용 가능한 Data (CAD/CAM/CAE, INSPECTION)로 만들어 이용하는 일련의 작업이라고 할 수 있다. Reverse Engineering은 주로 CAD 데이터 없는 실제품의 설계분석 및 해석분석, 자사제품 INSPECTION, 경쟁사 벤치마킹, 노후금형 및 파손금형의 재제작 뿐만 아니라 3D 아바타 및 3D 캐릭터, 성형외과, 문화재 복원 등 다양하게 활용되고 있다.

Reverse Engineering은 레이저 광원을 이용하여 실제품에 대한 3차원 스캔을 통해 수십만에서 수백만개의 3차원 점군 데이터(3D Point Cloud) 즉 실물의 Digitizing한 Raw Data를 얻어 Decimation을 거쳐 제품과의 Inspection에 활용하기도 하고 Cloud data를 Polygon Data화 하고 Surface Data로 만들어 필요한 부분에 활용하는 작업이다. 최근에는 스캔 작업이 고속정밀 형상측정이 가능하며 작업성도 편리해졌다.

일반적으로 금형개발 과정에서는 노후금형 및 파손금형의 재제작에 많이 활용되고 있다. CAD 모델링 데이터와 실물은 Try-out과정중의 수정 등으로 차이가 있을 수 밖에 없는 실정이다. 파손된 금형에 대한 스캔 작업으로 단기간에 금형을 제작하여 성과를 거둔 실례가 있으며 스캔을 통해 Try-out과정을 거친 완성 Panel과 Cad data, 성형해석 결과 데이터와 비교 측정하는데 이용한 사례에 대해 기술하여 보겠다.

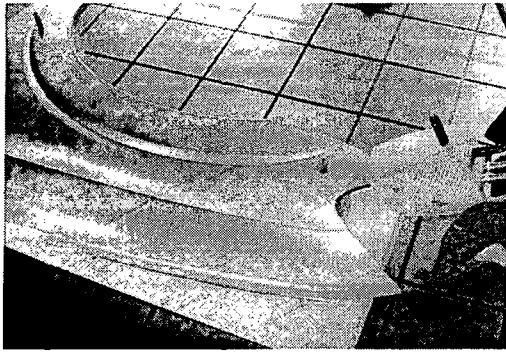


Fig. 14 Scanning과정

Fig. 14는 Panel Fender의 완성 Panel을 간이 Jig를 활용하여 Laser스캔장비로 스캔하는 과정이다.

Fig. 15는 성형해석결과 데이터와 CAD DATA와 비교한 결과이며 Fig. 16은 스캔 데이터(완성 Panel)와 CAD DATA와 비교한 결과이다. 경향은 비슷하나 “A” 부분에서 약5mm정도의 차이를 보이고 있다.

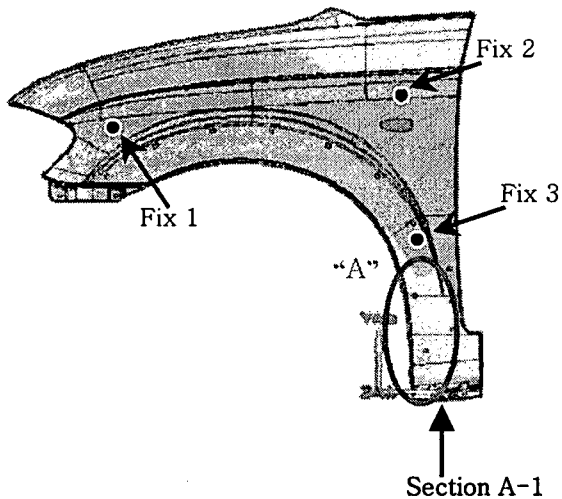


Fig. 15 S/back해석결과와 Cad Data비교

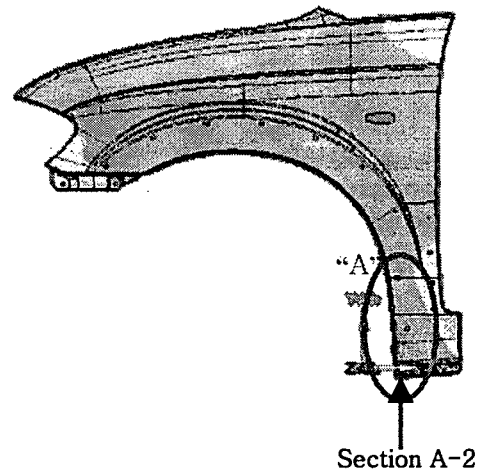


Fig. 16 Scanning Data와 Cad Data비교

“A” 부분에서 스프링백 해석결과는 1mm정도의 스프링고 현상이 보이나 실제품은 5mm정도의 스프링백현상이 보이는 것으로 확인이 되었다. Fig. 17과 Fig. 18에서 Section으로도 확인할 수 있다. 그 외 부분은 Fig. 19, Fig. 20에서 보듯이 0.5~1mm정도의 오차가 있는 것으로 확인이 되었다.



Fig. 17 Section A-1

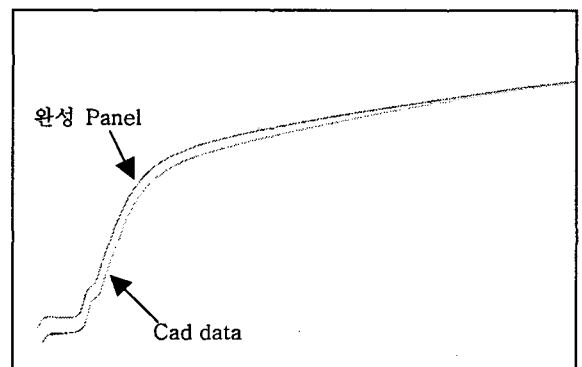


Fig. 18 Section A-2

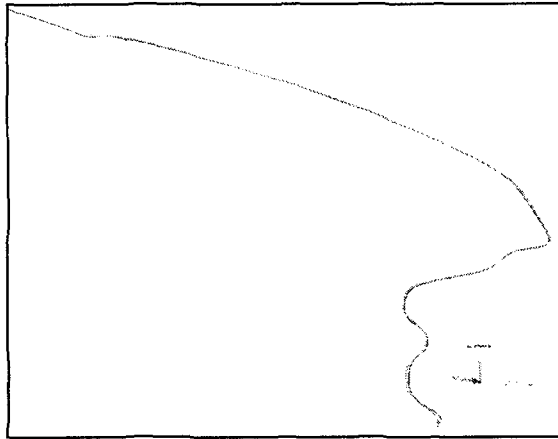


Fig. 19 S/back해석결과와 완성pnl과의
비교 Section

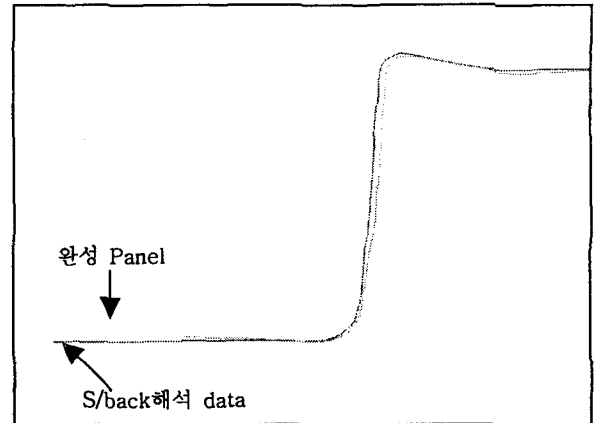


Fig. 20 S/back해석결과와 완성pnl과의
비교 Section

지금까지 Laser scanning을 이용하여 스프링백해석 결과와 실물과의 비교 측정 가능성에 대하여 알아보았다. 스캐닝을 통해 Panel측정을 더 정밀하게 할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었으나 스캐닝 방법 정립 및 Inspection하기 위한 Alignment를 정확하기 위한 기준이 필요할 것으로 본다. 또한 고정밀도와 함께 사용상의 편리성도 중요한 요소로 검토하여야 하겠다.

3. 결 론

금형개발기간의 단축 및 디지털화, 더 나아가 시작금형의 양산 직TOOL화는 금형기술자의 경험에 의한 방법으로는 분명 한계가 있으며 문제해결방법 또한 직관적일 수 밖에 없다. 이 한계를 극복하기 위해선 효율적인 프로세스 정립이 선행되어야 한다. 2D 설계에서 3D 설계로의 변화 및 후공정 해석의 적용에 따른 프로세스의 변경이 불가피하다. 가상공간의 TOOL을 적극 활용함으로써 시행착오를 최소화하고 객관적인 예측 및 검증을 활용한다면 고품질의 제품을 기대할 수 있다. 지금까지 당사에서 적용한 유한요소법을 이용한 전공정 성형해석 및 스프링백해석 사례에 대해 알아 보았다. 이상으로 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 성형난이 부품에 대한 후 공정 해석의 적극 적용이 가능하며 필요하다고 본다. Draw금형의 성형성에만 의존하면 후 공정 치수불량으로 인한 작업시간의 증가로 결국 Try-out시간의 단축은 할 수 없게 된다. 이제는 Draw공정만을 위한 해석이 아닌 완성 Panel을 위한 성형해석이 지원되어야 한다고 본다.
- 2) 해석신뢰도의 향상으로 정확하고 객관적인 재료의 물성치가 확보되어야 하겠다. 주로 사용하고 있는 MILD STEEL뿐만 아니라 고장력(TRIP강)에 대한 정확한 물성의 DATA BASE가 이루어져야 하겠다.
- 3) 후 공정해석에 대한 신뢰성 및 해석속도 향상으로 금형작업자에게 객관적자료를 제시하여야 한다. 품질향상을 위한 해석기술의 확보가 필요하며 실물에 적용하기 위해서는 시기가 중요한 만큼 적절한 mass scale의 적용으로 신뢰성 있는 결과와 해석시간의 단축이 필요하다.

- 4) Spring back해석에 대한 신뢰성 확보가 필요하다. 해석 프로그램의 신뢰성 확보 및 프로그램 자체의 최적의 스프링백 조건의 확보가 필요하다. 해석결과의 정량적 판단은 아직 어려움이 있으며 대물 Panel의 경향분석이 우선되어야 한다.
- 5) 스프링백해석 결과의 정확한 판단을 위해 Panel측정 방법이 개선되어야 한다. 스캐닝을 이용한 Panel 측정으로 해석결과의 검증이 가능하다고 본다. 간이 지그를 활용하면 Panel 변형량에 대해 정확한 측정과 경향을 분석할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Bradley N. Maker, 1998, "Implicit Springback Calculation using LS_DYNA" 5th International LS_DYNA Users Conference.
- (2) Nielen Stander, Mike Burger, Xinhai Zhu, Bradley, Maker, 2002, " 7th International LS_DYNA User' s Conference"
- (3) BASIC FORMABILITY, Forming Technologies Incorporated
- (4) 이두환, 윤치상, 신철수, 조원석, 구본영, 금영탁, 2000, "수직벽을 가진 자동차 부품 성형 공정의 스프링백 유한요소 해석" , 한국소성가공학회.
- (5) 유병주, 2000, "LS_DYNA를 이용한 드로우 금형의 개발" 5th LS_DYNA User' s Conference 2000"
- (6) 한수식, 2002, "Reverse Engineering을 이용한 자동차 부품의 성형해석" 8th HANPAM 2002 User' s Conference"