

현장 적용을 위한 스프링백 예측 정밀도 향상기술

문명수*, 김성태*, 김영석**, 정완진***

Improvement of Springback Predictability for Industrial Requirement

M.S. Moon, S.T. Kim, Y.S. Kim, W.J. Chung

Abstract

세계적으로 자동차의 안전에 관한 규격 강화와 환경 오염에 대한 인식이 확대되면서 차량의 강성 증대 및 경량화를 위하여 고장력 강판의 사용이 증대되면서, 스프링백에 의한 고장력 강판의 치수불량 문제가 크게 대두되었다. 스프링백에 의한 제품의 품질을 개선시키기 위하여 다양한 해석방법이 연구되었으며, 현재 이들 프로그램들을 현장에 도입하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 현장에서 사용하고 있는 판재성형해석 프로그램들의 스프링백 해석 특징을 파악하고 실제 판넬 측정량과 비교하여 해석의 신뢰도를 검증한다.

* ㈜코디마, ** 경북대, *** 서울산업대

구비품 및 목적

- 스프링백 해석의 필요성
 - 차량의 안전에 대한 규격 강화 및 환경오염에 대한 인식의 확대로 인하여 차량의 강성 증대 및 경량화를 위한 고장력 강판의 사용 증대에 따른 품질 문제(스프링백)가 크게 부각됨
 - 스프링 백에 의한 치수불량의 문제로 인하여 금형 개발 시간 증가 및 금형의 품질 저하 발생
 - 제품 설계 단계에서의 스프링백을 고려한 설계 반영
- 연구방법
 - LS-Dyna, Pamstamp, Z-Stamp의 스프링백 특성파악
 - 동일한 해석 조건의 DRAW 성형 결과의 S/W 별 스프링백 결과 비교
 - 실패넬(RAIL ROOF SIDE INR)의 측정량과의 비교 검토를 통한 스프링백 해석의 신뢰성 검토

해석의 특성

- 스프링백 해석의 문제점
 - ❖ 성형해석(Dynamic Explicit Method)에서의 정확한 잔류응력 예측필요
 - 접촉처리 및 재료 모델에 크게 의존
 - 해석 조건에 따른 잔류응력의 차이(성형속도, Mesh size, Integration Points 등의 영향)
 - 결과의 신뢰성을 평가하는 오차지표의 개발필요
 - ❖ 부위별 응력 불균일(주름발생) 또는 복잡한 변형에 의한 응력 불균일 등으로 인한 스프링백 해석(Static Implicit Method)의 부정확
 - ❖ Large Rotation 발생시 수렴성 저하(특히, Iterative Solver)
 - ❖ Hardening 모델의 미정립에 의한 탄성에너지의 부정확
- 스프링백에 영향을 주는 성형조건
 - ❖ Contact
 - Penalty Method : Penetration 발생으로 응력이 부정확하지만, Lagrangian Method보다 효율적이기 때문에 박판성형 해석에서 널리 사용됨 (적절한 Penalty Parameter 선택필요)
 - Lagrangian Method : 정확한 접촉처리가 가능하지만, 미지수의 증가로 해석시간이 증대함
 - Bucket Search Algorithm : Contact Search 시간 단축
 - ❖ Shell Element
 - Belytschko-Tsay Shell Element : 요소의 내력계산속도가 빨라 박판성형해석에서 널리 사용됨
 - Integration Points : Bending Mode 에서의 정확한 두께응력계산을 위하여 최소 5개 이상의 적분점 필요
 - ❖ Material Model
 - Anisotropic Plasticity

공정 해석 프로그램의 비교

□ Dynamic Explicit Solver

| | LS-Dyna | Pamstamp | Z-Stamp |
|---------------------------|---|--|---|
| Shell Element Formulation | <ul style="list-style-type: none"> ■ Belytschko-Tsay Shell Element ■ Reduced Integration Points through the shell thickness | | |
| Material Model | <ul style="list-style-type: none"> ■ Hill's Quadratic Yield Condition, 1948 ■ Barlat's 3-Parameter Plasticity Model, 1989 (Barlat & Lian) | <ul style="list-style-type: none"> ■ Hill's Quadratic Yield Condition, 1948 ■ Hill's Yield Condition, 1990 | <ul style="list-style-type: none"> ■ Hill's Quadratic Yield Condition, 1948 ■ Barlat's Plasticity Model, 1991 |
| Contact Algorithm | <ul style="list-style-type: none"> ■ Isotropic and Kinematic Hardening ■ Penalty method ■ Bucket search | <ul style="list-style-type: none"> ■ Penalty method ■ Bucket search | <ul style="list-style-type: none"> ■ Penalty method ■ HITA search |

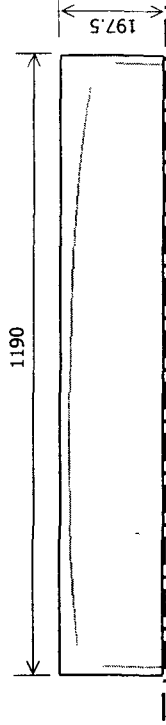
파인칭영역식 프로그램의 비교

- Static Implicit Solver
 - ❖ LS-Dyna : 다양한 Implicit solver 지원
 - Nonlinear Equation Solver – Line Search
 - BFGS update (The Quasi-Newton) Method
 - DFP(Davidon-Fletcher-Powell) Method 등
 - Linear Equation Solver – Stiff Matrix Inversion
 - Direct Sparse Solver : 해의 수렴성이 좋음
 - Parallel Multi-Frontal Sparse Solver : Modified Direct Sparse Solver
 - Iterative Method : 해의 수렴성이 낮고 해석시간이 많이 소요됨
 - 성형모드가 복잡할 경우 수렴이 되지 않음
 - Solid, Massive Structures, Natural Frequencies 문제에 적합하며 스프링백 해석에는 적용하기 어려움
- ❖ Pamstamp
 - Nonlinear Equation Solver
 - Modified Newton iterations
 - Linear Equation Solver
 - Modified Conjugate Gradient Method
- ❖ Z-Stamp
 - Nonlinear Equation Solver
 - Nonlinear, Newton-Raphson iteration
 - Linear Equation Solver
 - Multi-Frontal Direct Solver

□ 성형조건

- Part Name : RAIL ROOF SIDE INR
- Blank Size : 1190 X 395 mm
- Blank Material : SPCC 1.4t
- Blank Holder Stroke : 30 mm
- Blank Holding Force : 700 KN
- Stamping Operation : Draw → Trim → Pierce

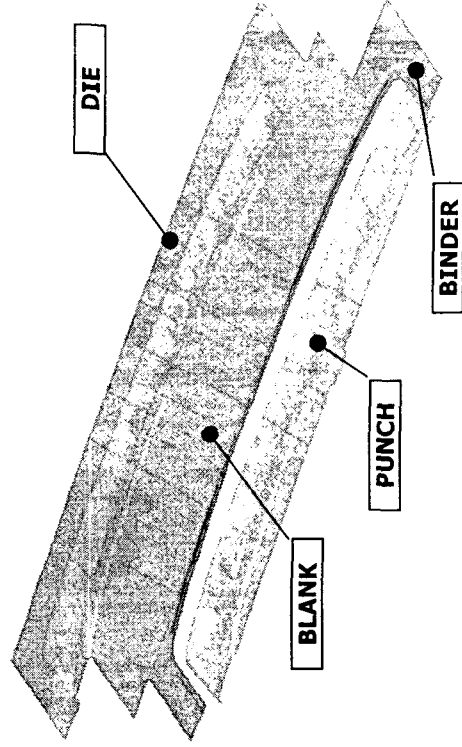
Blank geometry & Bead section geometry



□ 해석조건

- Initial Blank Mesh Size : 4mm (Adaptive level : 2)
- Friction Coefficient : 0.15
- Closing Speed : 2m/s
- Forming Speed : 5m/s
- Number of Element : 32970
- Number of Node : 35139
- Simulation S/W : Pamstamp 2000, LS- Dyna Version960, Z-stamp
- Simulation Operation : Draw → Trim → Springback

FE MODEL



결과 비교

□ S/W 별 Draw 해석결과 비교

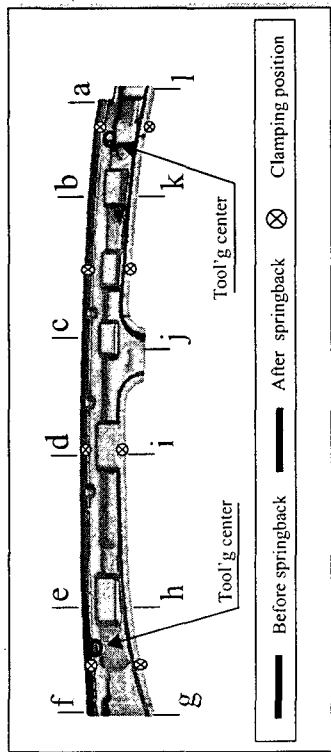
| | 1st Principle Stress Contour | 해석시간 | 해석 조건 |
|----------|------------------------------|----------|--|
| LS-Dyna | | 10:05:26 | Shell element : Belytschko-Tsay Material model : Hill's 1948 Integration points : 7 CPU : AMD Athlon™ MP2400+ |
| Z-Stamp | | 6:04:19 | Shell element : Belytschko-Tsay Material model : Hill's 1948 Integration points : 5 CPU : AMD Athlon™ MP2400+ |
| Pamstamp | | 12:36:30 | Shell element : Belytschko-Tsay Material model : Hill's 1948 Integration points : 7 CPU : PA8600 522MHz (HP Visualize J6000) |

■ 성능해석결과는 정량적인 차이는 있지만 정성적으로는 비슷한 결과를 보이고 있음
Computer system이 다르지만 S/W별 해석시간의 차이 나고 있음

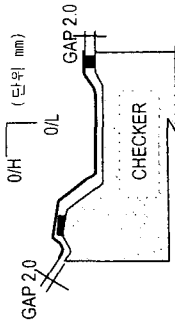
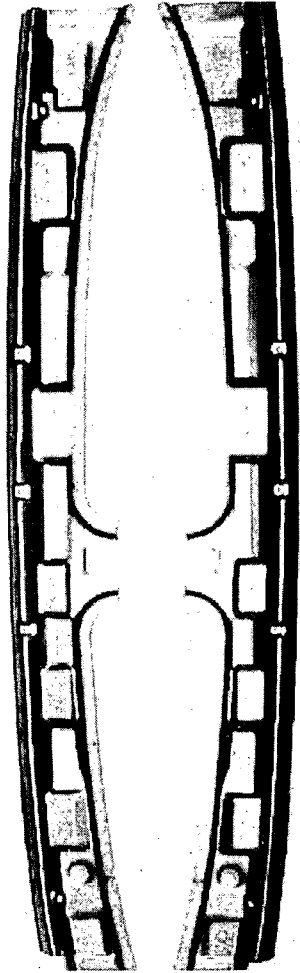
클램핑부의 스프링백 해석 결과 비교

□ 실험결과와 해석결과와의 비교

[해석결과]



[실험결과]



| | | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | 해석 시간 |
|------|----------|-------|------|-----|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|----------|
| 실험결과 | LS-Dyna | -0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | -0.1 | -0.7 | -0.3 | 0.2 | -0.1 | 0 | 0.3 | 0.3 | |
| | Z-Stamp | -0.15 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | -0.32 | -0.72 | 0.6 | 0.26 | -0.05 | -0.13 | 0.07 | -0.2 | 00:42:02 |
| | Pamstamp | -0.1 | 0.25 | 0.2 | -0.2 | -0.2 | -1.2 | -0.8 | -0.4 | -0.04 | 0.04 | 0.19 | -0.1 | 00:30:11 |
| 실험결과 | | -0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.37 | -0.04 | -0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.07 | -0.07 | 0 | 0.05 | 14:19:06 |

- 위의 측정값은 부분적으로 클램핑 후 측정하였으며, 클램핑 부위의 측정값은 해석 결과와 차이가 있을 수 있음
- 실험결과와 스프링백 해석 결과는 정량적인 값의 차이는 있으나 근사한 경향을 보여주고 있음
- 측정값 차이는 측정오차와 클램핑에 의한 오차, 재료의 산포, 해석오차에 기인한 것으로 판단됨

- 각 S/W별로 해석 결과의 정량적인 차이는 있지만 실패판넬의 실험 결과와 잘 일치함
- S/W별 성형해석 결과의 차이로 인한 스프링백 해석결과의 오차발생 (스프링백 해석결과와 정확성은 성형해석조건에 의해 결정되므로 성형해석조건외 변수를 신중히 선택할 필요가 있음. - Mesh Size, 성형속도, Integration Points 등)
- 전반적으로 스프링백 해석결과와 유사한 경향을 보여주지만, 해석결과를 금형 보정을 위한 정량적인 값으로 사용하기에는 개선의 여지가 있음
- 제품 설계 단계에서의 스프링백 예측을 통하여, 설계 초기에 결과를 반영할 수 있음
- 해석결과 및 수렴속도 등을 고려할 경우 Z-stamp가 상대적으로 큰 장점을 가지고 있음