J. of Basic Sciences, Cheju Nat'l Univ.
17(1), 71~80, 2004

기초과학연구 제주대학교
17(1), 71~80, 2004

스템핑 공정에서의 차체판넬 성형해석을 통한 공법개발에 관한 연구

정 동 원* · 황 재 신**

*제주대학교 기계 · 에너지 · 생산공학부, 첨단기술연구소, **제주대학교 대학원

요 약

유한요소법은 변형과정을 예측하여 성형과정을 시뮬레이션 하는 매우 효과적인 방법이다. 박판금속성형의 유한요소 모델링은 정확한 금형모델을 위해 필요하다. 실제크기의 스템핑 금형부분의 기하학적인 복잡성보다도 실제크기의 차체 판넬 스템핑 부분의 FE 모델을 만드는 것이 더 어렵다. 본 논문에서는 최적의 다이설계로 저렴한 금형비 뿐만 아니라 높은 정밀도를 얻기 위한 금형계획을 AUTOFORM으로 차체 스템핑 공정에서의 성형해석에 관한 연구를 하고자 한다. 본 연구의 시뮬레이션 결과로 인하여 전문가들에게 최적의 다이설계에 관한 좋은 정보가 될 것이다.

I. 서 론

금속성형 가공에서 가장 어려운 것이 공정설계이다. 안전과 여유를 보아서 공정수를 많이 하면 금형 및 가공비가 많아지고 가격 경쟁이 심한 중에 수주할 수 없어서 기업의 최대 목적인 이익도 얻을 수 없다. 그러나 무리하게 공정수를 적게 하면 불량품의 다량발생으로 품질, 가격 및 납기의 모든 면에서 바람직하지 못하다. 그리고 대부분의 박판 성형물은 제조공정 중에 커다란 소성변형을 수반하게 되어 판재의 파단, 형상불량 등의 가공 결함이 발생하게 된다. 따라서 우수한 박판 성형물을 얻기 위해서는 합리적인 가공공정의 설계가 필수적이라 할 수 있다.[1-4]

Fig. 1과 같이 금형제작 과정은 차체부품의 최적설계를 위한 제품 솔루션을 한 후 현재제품상태에서 전개할 수 있는 최적의 공정계획, 제품률, 생산라인 LOAD'G조건, 성형성확보 방안 등을 제안한 다음 성형해석을 위한 제품 필렛팅, Die Modeling을 3차원 모델링한다. 다음으로 해석시스템을 직접 Operating 함으로써 실제 T/OUT 상황에서 발생하는 모든 변수들을 데이터 입력 시 고려하여 실제상황에 최대한 근접한 Virtual TRY-OUT을 구현할 수 있게 한 다음 초기공법계획에 성형해석시스템의 해석결과에 대한 기술적 대응방안을 사전에 반영함으로써 최적 다이 레이아웃을 완성한다.

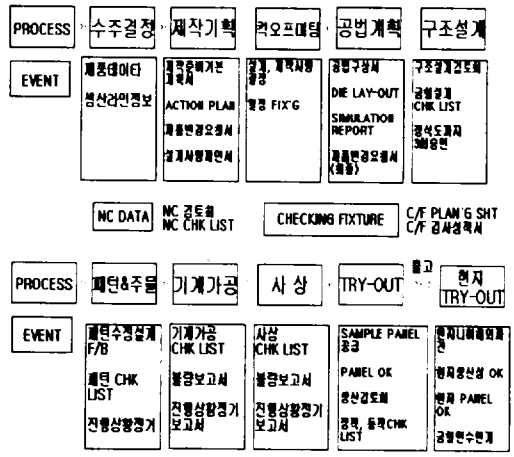


Fig. 1. Metallic mould manufacture process.

금형제작 과정과 마찬가지로 차체 판넬의 설계 제작 과정을 Fig. 2에서 살펴보면, 제품도가 완성된 후에 펀치 프로파일과 다이 페이스를 얻기 위해서는 경험에 의한 데이터베이스를 이용하는 방법과 성형 시뮬레이션을 이용하는 두 가지 방법이 있다.

그러나 현재로서는 경험에 의한 설계가 지배적이며, 향후에는 성형 시뮬레이션으로 점차 변경 될 것으로 예상된다. 이러한 두 방법은 모두 수정과 검토 반복 작업이 이루어진다. 따라서 레이아웃의 변경에 따라, 금형 설계의 변경이 신속히 이루어져야한다.[5-10]

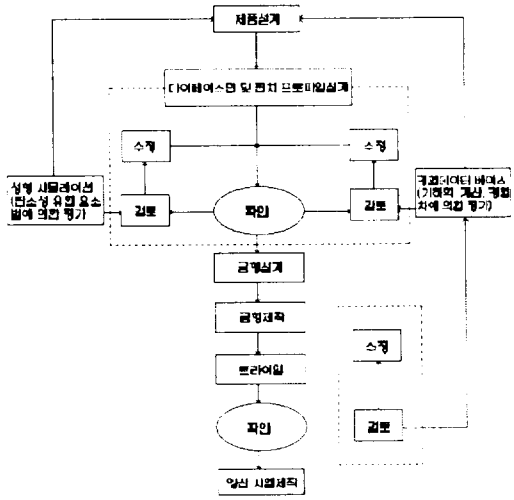


Fig. 2. Flow chart for die manufacturing.

본 논문에서는 실제 산업현장에서 사용되는 차체 판넬 스템핑 공정의 유한 요소 해석에 있어서 중요한 과정의 하나인 금형형상의 모델링과 관련하여 최적의 공법을 적용하여 성형 해석하였다. 해석결과로부터 본 공법의 정확성과 실제 산업현장에서의 적용가능성 및 타당성을 검토하고자 한다.

II. 이 론

비선형 유한요소 운동방정식은 가상일의 원리로부터 얻어지는데, 셀 모델, 재로거동모델, 유한요소 형상함수와 강체요소의 동역학을 가상일의 원리에 도입하면다음과 같은 평형방정식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{N=0}^{N_0} (m^e \ddot{u}^e + c^e \dot{u}^e + p^e - f^e + r_c^e) = 0 \qquad (1)$$

비선형 유한요소방정식은 시간 n단계에서 다음과 같은 행렬식으로 쓸 수 있다.

$$[M]\ \ddot{u}_n + [C]\ \dot{u}_n + [K] u_n = R_n \qquad (2)$$

위 식으로부터 시간중분 $n+1$에서의 해를 얻기 위해 다음과 같은 중앙차분법을 사용한다.

$$\ddot{u}_n = \frac{\dot{u}_{n+\frac{1}{2}} - \dot{u}_{n-\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \frac{u_{n+1} - 2u_n + u_{n-1}}{\Delta t^2}$$

$$\dot{u}_{n+\frac{1}{2}} = \frac{u_{n+1} - u_n}{\Delta t} \quad or \quad \dot{u}_n = \frac{u_{n+1} - u_{n-1}}{2\Delta t} \qquad (3)$$

식(3)은 u_{n+1}과 u_{n-1}에 대한 테일러급수로부터 유도되어지고, 3차 이상의 항은 무시한다.

$$u_{n+1} = u_n + \Delta t\, \dot{u}_n + \frac{\Delta t^2}{2} \ddot{u}_n + \frac{\Delta t^3}{6} \dddot{u}_n + \cdots\cdots$$

$$u_{n-1} = u_n - \Delta t\, \dot{u}_n + \frac{\Delta t^2}{2} \ddot{u}_n - \frac{\Delta t^3}{6} \dddot{u}_n + \cdots \qquad (4)$$

중앙차분법은 Δt의 크기에 따라 선택적인 수렴을 가지며, 정확성과 수렴성은 Δt의 제곱에 비례한다.

III. 성형해석 결과

3.1. SP782-440 1.6t 성형해석

Model = QW
P/Name = REF SILL OTR-R/L
Application = AutoForm(B/H+DR)
Material = SP782-440
Thickness = 1.6
Binder Pressure = 70 TON
Drawing Pressure = 1000 TON
Blank Size : 1970mm X 350mm

Fig. 3. The first input condition.

Fig. 4을 보면 두께감소로 인한 성형 부적합한 곳은 4부분이 발견되었다. 4부분을 상세하게 나타낸 결과 〈view-a〉부분 〈1〉부분에서는 두께감소는 35.3%이상이며 하사점 80mm에서 파단(25%)이 일어

나기 시작한다. 〈2〉부분에서는 두께감소는 50%이상이며 하사점 55㎜에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 〈3〉부분에서는 두께감소는 50%이상이며 하사점 4㎜에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 그리고 〈view-b〉에서 〈4〉부분에서는 두께감소는 40.5% 이상이며 하사점 2㎜에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 이 결과로 파단의 심각성을 알 수 있다.

Fig. 5에서는 주름위치는 1부분이다. 주름은 〈1〉인 부분이다. 하사점 20㎜까지의 주름의 형태를 보여준다. 파단과 함께 주름의 심각성을 보여준다.

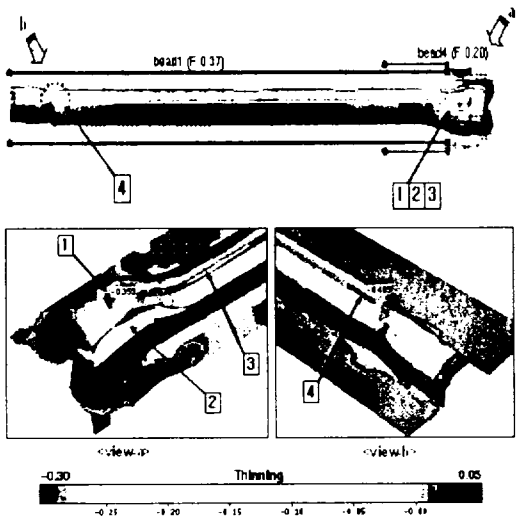


Fig. 4. Thickness reduction.

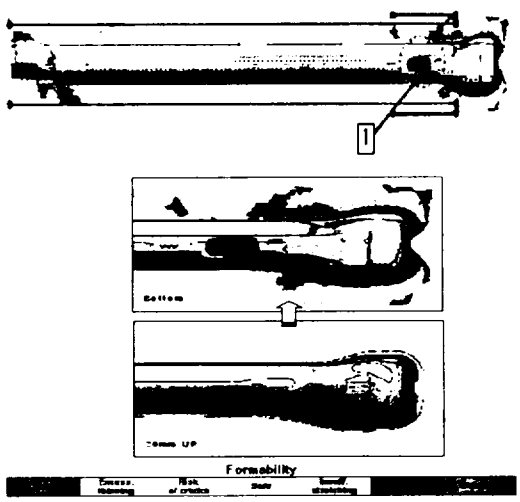


Fig. 5. Wrinkling.

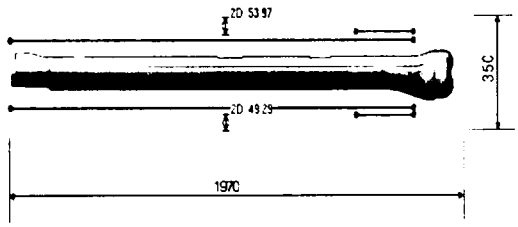


Fig. 6. BLANK SIZE & METAL FLOW.

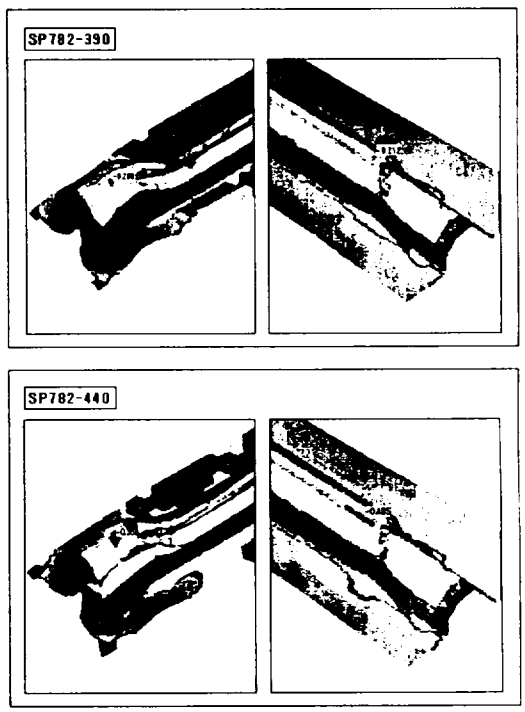


Fig. 7. Comparison of material difference (Thickness reduction).

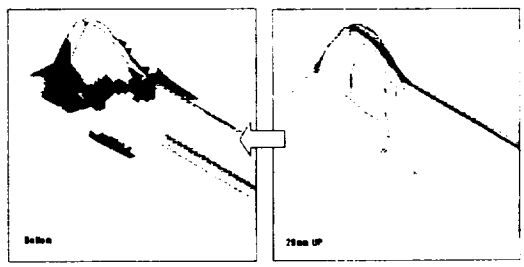
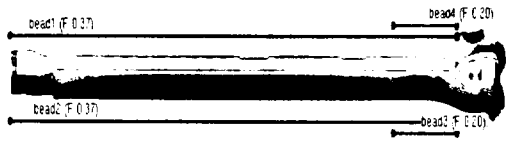


Fig. 8. DIE FACE TYPE CHANGED.

다이 페이스 주위에 심각한 주름이 발생하고 있으므로 다이페이스 형태를 변경해야 한다.

3.2. SP782-440 1.8t 성형해석

최소한의 실험을 통해 최적설계를 위해 재질이 정해지지 않은 가해석한 결과를 통하여 재질을 정하고 두께의 변화를 통한 성형해석 한 결과이다.



Model = QW
P/Name = REF SILL OTR-R/L
Application = AutoForm(B/H+DR)
Material = SP782-440
Thickness = 1.8
Binder Pressure = 70 TON
Drawing Pressure = 1000 TON
Blank Size : 1970mm X 350mm

Fig. 9. The second input condition.

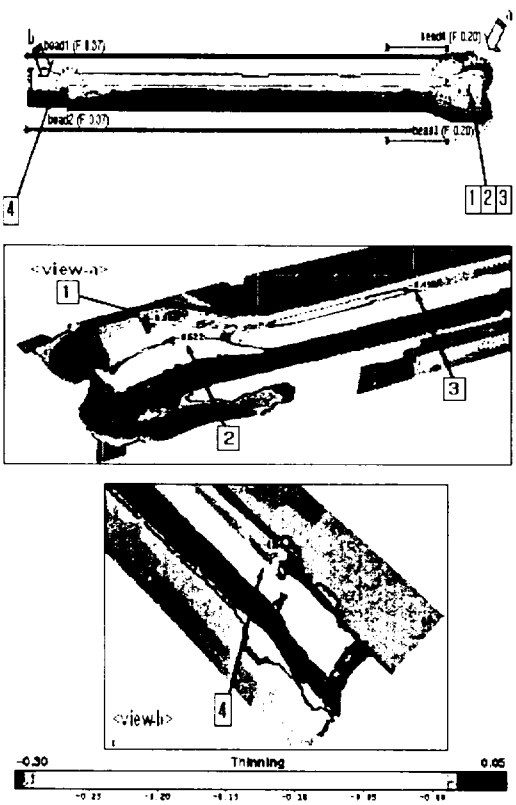


Fig. 10. Thickness reduction.

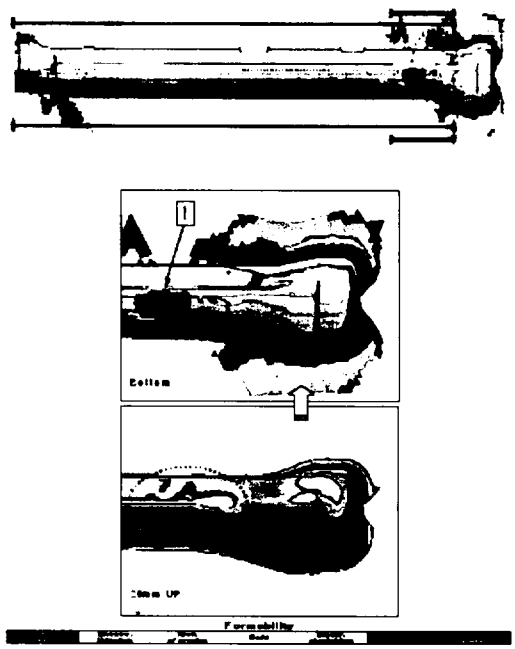


Fig. 11. Wrinkling.

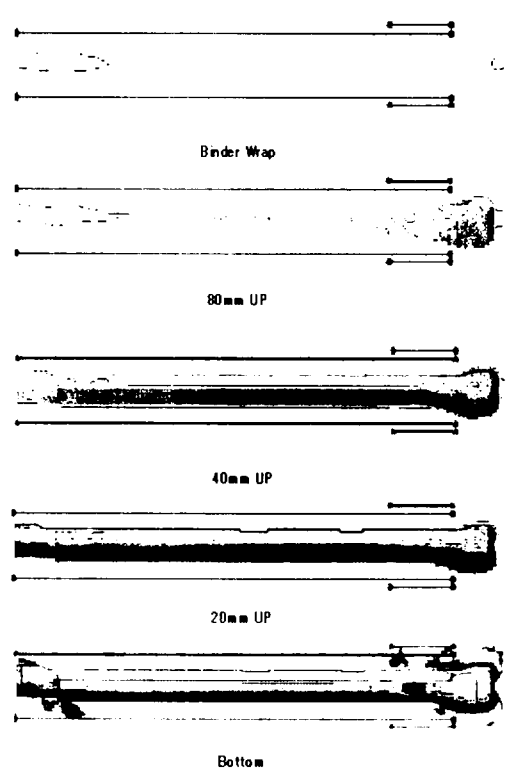


Fig. 12. Step Picture(Press View).

Fig. 10을 보면 두께감소로 인한 성형 부적합한 곳은 4부분이 발견되었다. 4부분을 상세하게 나타낸 결과 〈view-a〉부분 〈1〉부분에서는 두께감소는 36.2% 이상이며 하사점 81㎜에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 〈2〉부분에서는 두께감소는 50%이상이며 하사점 81㎜에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 추가적으로 〈3〉부분에서도 마찬가지로 두께감소가 50%이상이며 하사점 2㎜에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 〈view-b〉에서 〈4〉부분에서는 두께감소는 35.4%이상이며 하사점 1㎜에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다.

주름이 발생하는 부분은 1부분이다. 주름은 하사점 20㎜까지의 성형상태에서 주름형상을 Fig. 10에서 보는 봐와 같이 파단으로 인한 주름이 초기 조건과 마찬가지로 심각하다.

펀치행정에 따른 판넬의 성형 과정을 나타낸 결과로부터 알 수 있듯이 파단과 주름의 문제가 심각하다.

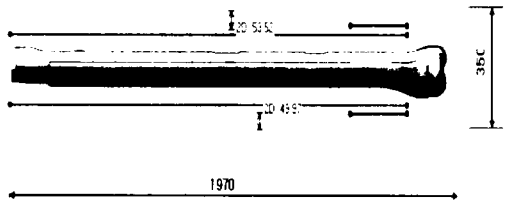
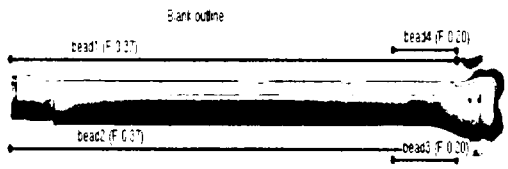


Fig. 13. BLANK SIZE & METAL FLOW.

3.3. SP782-440 2.0t 성형해석



Model = QW
P/Name = REF SILL OTR-R/L
Application = AutoForm(B/H+DR)
Material = SP782-440
Thickness = 2.0
Binder Pressure = 70 TON
Drawing Pressure = 1000 TON
Blank Size : 1970mm X 350mm

Fig. 14. The third input condition.

Fig. 15을 보면 SP782-440 1.8t와 마찬가지로 두께감소로 인한 성형의 부적합한 곳은 4부분이 발견되었다. 4부분을 상세하게 나타낸 결과 〈view-a〉부분 〈1〉부분에서는 두께감소는 35.8%이상이며 하사점 78㎜에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 〈2〉부분에서는 두께감소는 50%이상이며 하사점 55㎜에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 추가적으로 〈3〉부분에서도 마찬가지로 두께감소가 50%이상이며 하사점 2㎜에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 〈view-b〉에서 〈4〉부분에서는 두께감소는 39.8%이상이며 하사점 1㎜에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다.

주름이 발생하는 부분은 1부분이다. 주름은 하사점 20㎜까지의 주름경향을 나타내었으며, 계속해서 똑같은 부분에서 주름의 문제가 생긴다. 재질과 공법의 변경이 바람직하다.

재질의 두께를 1.8t에서 2.0t로 조정한 것이 파단과 주름의 문제는 조금 나아졌지만 여전히 문제가 심각하다.

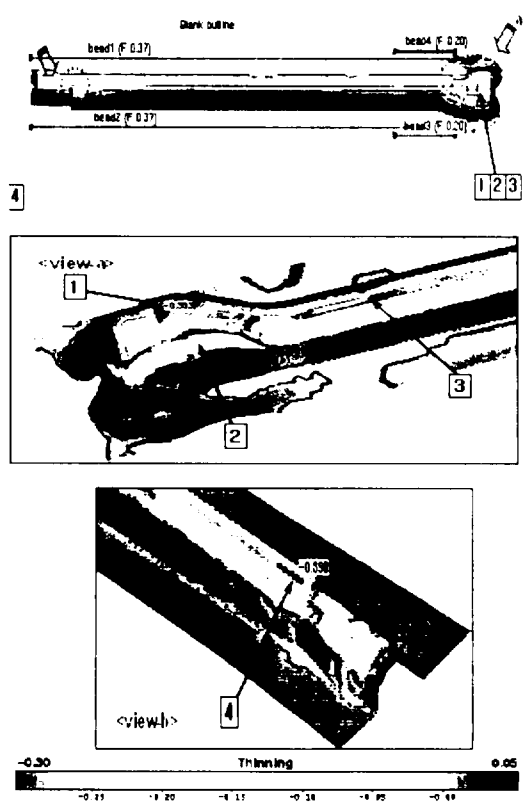


Fig. 15. Thickness reduction.

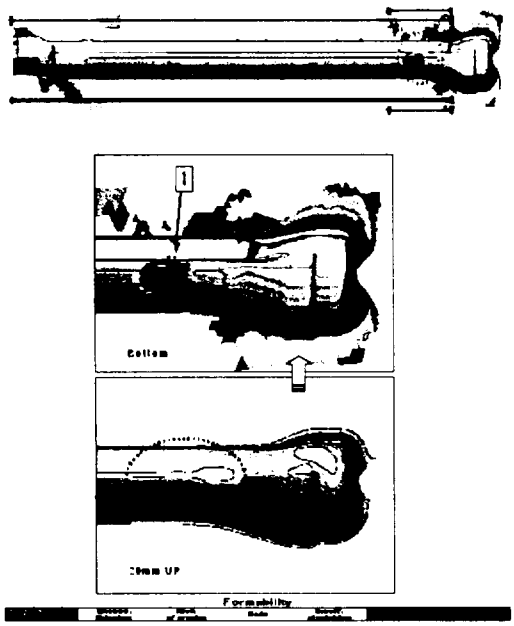


Fig. 15. Wrinkling.

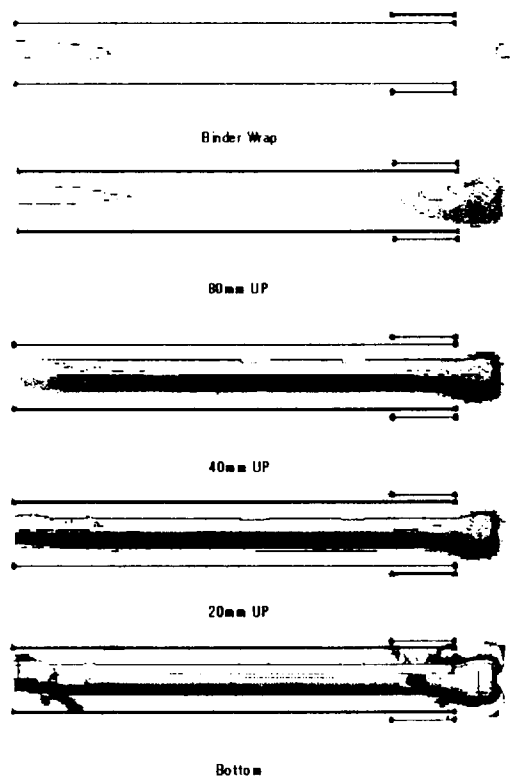


Fig. 16. Step Picture(Press View).

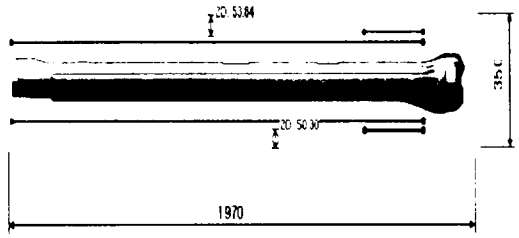


Fig. 17. BLANK SIZE & METAL FLOW.

3.4. SP782-440 2.0t 공법개발

Model = QW
P/Name= REF SILL OTR-R/L
Application = AutoForm(B/H+DR)
Material = SP782-440
Thickness = 2.0
1st draw Binder Pressure = 70 TON
Drawing Pressure = 1000 TON
2st draw Binder Pressure = 40 TON
Drawing Pressure = 500 TON
Blank Size : 1970mm X 350mm

Fig. 18. The 4th input condition.

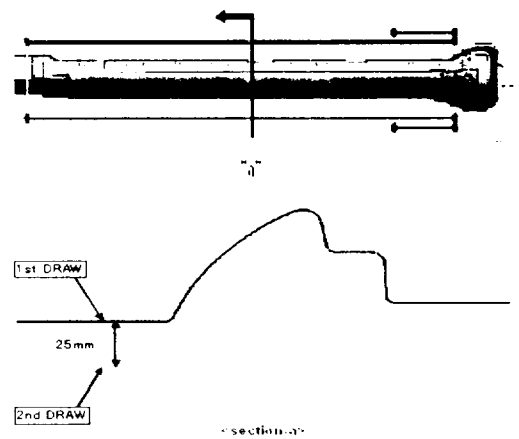


Fig. 19. DRAW SHAPE.

SP782-440에 대한 성형해석 결과이다. 이와 같은 결과와 같이 크랙이 문제가 되고 있으며, 기존 DRAW 공법에서 1st DRAW와 2nd DRAW를 제안함으로써 크랙에 대한 문제점을 수정하기 위하여, 1st DRAW와 2nd DRAW를 수용함으로써 공법이 변경하여 성형하였다.

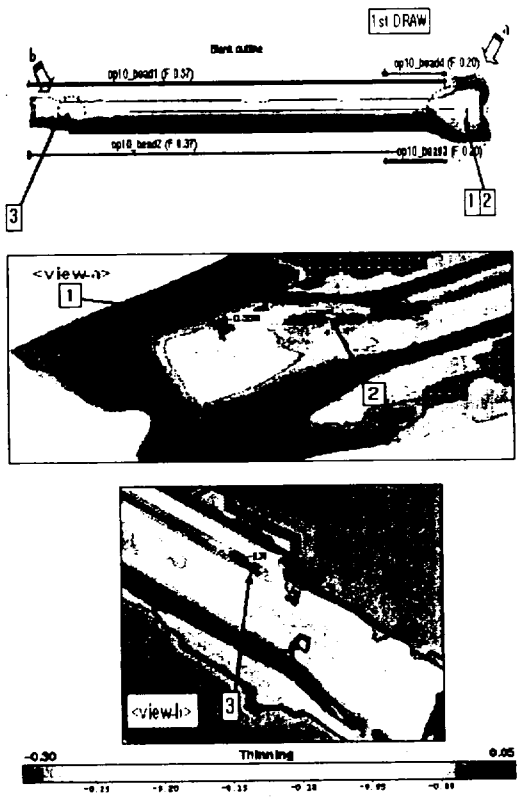


Fig. 20. 1st draw Thickness reduction.

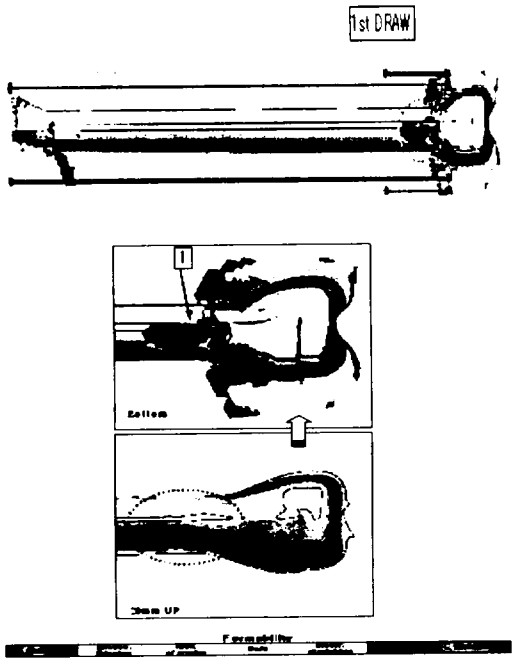


Fig. 21. 1st draw Wrinkling.

Fig. 20을 보면 SP782-440 2.0t 1st DRAW 성형해석 한 결과로 성형의 부적합한 곳은 3부분이 발견되었다. 4부분을 상세하게 나타낸 결과 〈view-a〉 부분 〈1〉부분에서는 두께감소는 35.9%이상이며 하사점 44mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 〈2〉부분에서는 두께감소는 50%이상이며 하사점 2mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다. 〈view-b〉에서 〈3〉 부분에서는 두께감소는 34%이상이며 하사점 1mm에서 파단(25%)이 일어나기 시작한다.

주름위치는 1부분이다. 주름은 〈1〉인 부분이다. 주름은 하사점 20mm까지의 주름경향을 나타내고 있으며, 1st draw으로 성형한 결과 여전히 계속해서 똑같은 부분에서 주름의 문제가 생겼다.

Fig. 23을 보면 2nd DRAW의 새로운 공법을 사용하여 SP782-440 2.0t를 성형해석 한 결과로 부적합한 곳은 3부분이 있다. 3부분을 상세하게 나타낸 결과 〈view-a〉부분 〈1〉부분에서는 두께감소는 38.4% 이상으로 파단이 되었다. 〈2〉부분에서는 두께감소는 50%이상으로 파단이 발생하였다. 〈view-b〉에서 〈3〉 부분에서는 두께감소는 50%이상이며 〈2〉와 마찬가지로 파단이 발생하였다. 재질의 변경이 불가피하다.

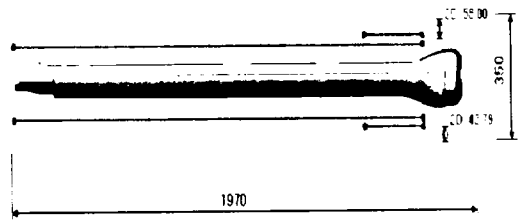
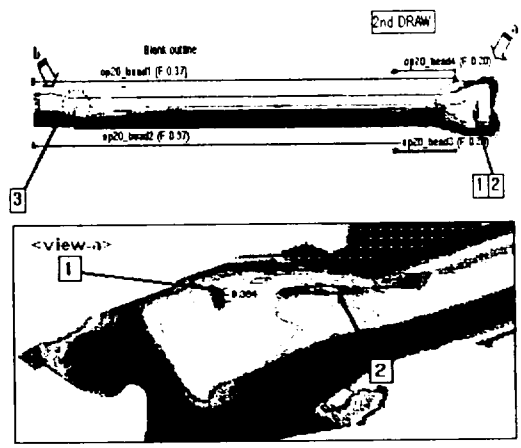


Fig. 22. BLANK SIZE & METAL FLOW.



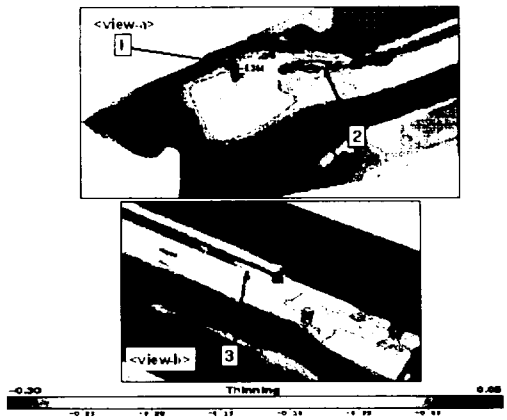


Fig. 23. 2st draw Thickness reduction.

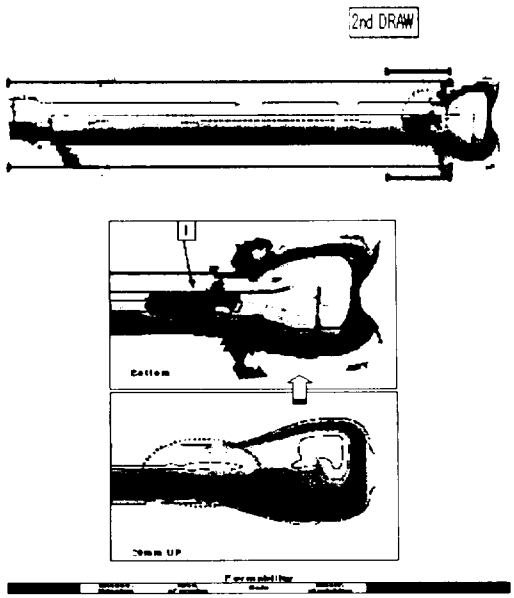


Fig. 24. 2st draw Wrinkling.

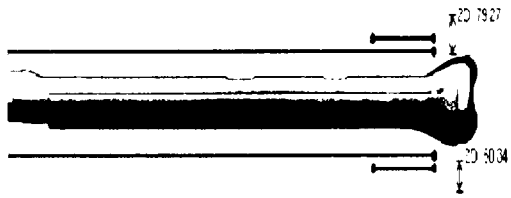


Fig. 25. BLANK SIZE & METAL FLOW.

주름위치는 1부분이다. 1st draw으로 성형한 결과 여전히 계속해서 똑같은 부분에서 주름의 문제가 생겼다. 재질의 변경이 불가피하다.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 실제 산업현장에서 사용되어지는 차체 판넬 스템핑 공정에서의 금형최적설계를 위한 두께감소율과 주름경향을 성형해석하고 새로운 공법을 개발하여 성형해석 한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수가 있다.

1. 성형성을 개선하기 위해 같은 재질에 두께를 변경하였지만 그 부분의 파단과 주름이 조금 완화는 되었지만 여전히 문제가 되었다.

2. 파단과 주름 때문에 두께와 블랭크사이즈를 변경하고 새로운 공법을 개발하여 다시 재해석 하였지만 파단과 주름부분은 현재의 재질인 SP782-440에 대한 안전한 성형성을 갖지 못한 결과를 보였다.

3. 이러한 성형 해석결과들을 볼 때 SP782-440인 재질은 REF SILL OTR-R/L 판넬에서 안전한 성형성을 갖지 못하므로 다른 재질의 변경이 불가피함을 알 수 있었다.

4. 원활한 금형제작을 위해서는 각 제작공정의 고유기술과 더불어 적시에 적절한 업무를 투입시킬 수 있는 Project 관리기술이 뒷받침 되어야 하며 각 Project 고유의 Action Plan을 기획, 이에 준한 업무를 추진함으로써 제작기간 중 발생할 수 있는 모든 종류의 리스크를 최소화하기 위한 해석공법의 개발이 절실하다.

참고문헌

1. 정효상, 이성수, 2002, "자동차 프레스 금형 자동설계지원시스템", 한국정밀공학회 Vol. 19, No. 8, pp.194-202.
2. 정동원, 안동규, 양동열, 이장희, 1995, "강소성 외연적 유한요소법을 이용한 자동차 박판제품의 성형공정에 대한 단면해석", 자동차공학회 Vol. 3 No. 3, pp. 19-28.
3. Jung, D. W. and Yang, K. B., 2000, "Comparative Investigation into Membrane, Shell and Continuum Elements for the Rigid-Plastic Finite Element Analysis of 2-Dimensional Sheet

Metal Forming Problems", J. Materials Processing Technology, Vol. 104, No. 3, pp.185-190.

4. Jung, D. W., Yoo, D. J. and Yang, D. Y. 1995. "A dynamic explicit/rigid-plastic finite element formulation and its application to sheet metal forming processes", Engineering Computations, Vol. 12, pp.707-722.
5. Jung, D. W., Song, I. S. and Yang, D. Y. 1995. "An improved method for application of blank holding force considering sheet thickness in deep drawing simulation of planar anisotropic sheet", J. Materials Processing Technology, Vol. 52, pp.472-488.
6. Jung, D. W., Yoo, D. J. and Yang, D. Y. 1995. "A dynamic explicit/rigid-plastic finite element formulation and its application to sheet metal forming processes", Engineering Computations, Vol. 12, pp.707-722.
7. Lee, H. S., Jung, D. W., Jung, J. H. and Im, S. Y. 1994. "Finite element analysis of lateral buckling for beam structures", Computers & Structures, Vol. 53, pp.1357-1371.
8. Jung, D. W. and Yang, D. Y. 1998. "Step-wise combined implicit-explicit finite-element simulation of auto-body stamping processes", J. Materials Processing Technology, Vol. 83, pp.245-260.
9. Jung, D. W., 1998. "Study of dynamic explicit analysis in sheet metal forming processes using faster punch velocity and mass scaling scheme", Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 7, No. 4, pp.479-490.
10. Kim, Y. S. and Jung, D. W., 1998. A study on deformation characteristics of the plane strain punch stretching test, Int. J. of KSME, Vol. 12, No. 4, pp.544-552.

A Study of developing tool planing by auto-body forming analysis in Stamping Processes

Dong-Won Jung*, Jae-Sin Hwang**

*Faculty of Mechanical. Energy & Production eng. Research Institute of Advanced Technology. Cheju Nat'l Univ.

**Graduate School. Cheju Nat'l Univ.

Abstract. Finite element method is very effective method to simulate the forming processes with good prediction of the deformation behaviour. For the finite element modeling of sheet mental forming the accurate tool model is required. Due to the geometrical complexity of real-size part stamping tools it is hard to make FE model for real-size auto-body stamping parts. In this paper. it was focussed on the drawability factors on auto-body panel stamping by AUTOFORM with using tool planing alloy to reduce law price as well as high precision from Design Optimization of die. According to this study. the results of simulation will give engineers good information to access the Design Optimization of die.

Key Words : Finite element method. auto-body panel stamping. tool planing. Design Optimization