

유한요소 해석법을 이용한 하이드로 임베딩 공정연구

김동규* · 박광수* · 김대현* · 문영훈*

Finite element study on the hydro-embedding process

D.K Kim, K.S Park, D.H Kim and Y.S Moon

Abstract

In the hydroforming process the number of process can be reduced by combining pre-forming process and post-forming process such as the bending, piercing and the embedding process. Integrated studies on the embedding manufacturing technology have been performed by analyzing the deformed mode of the tubes and the optimal process parameters. In this study, a simulation model that can prove clamping force between the clamping element and tube has been investigated by FEM. The characteristics of the embedded parts, such as the shape of the screw tip, screw thread and shape of thread were investigated at various clamping element conditions

Key Words : Tube Hydroforming, Hydro-Embedding, Internal Pressure, Axial Feeding Amount, Flange depth

1. 서 론

현재 자동차 부품 제조 신기술로 각광 받고 있는 hydroforming 공정의 응용기술 개발은 국내외로 위축된 철강 산업에 철강 수요 창출에 밑거름이 될 수 있는 것은 물론 자동차 차체 품질에 세계적인 경쟁력을 갖출 수 있는 기반이 될 수 있다.

본 연구에서 다루는 기술은 부품의 성형 공정 수를 줄이기 위한 병행공정에 관한 연구 및 기술 개발로 hydroforming 성형된 부품의 조립 및 체결 공정에서 용접이 어려운 경우 체결용 나사를 hydroforming 성형시 성형부품의 표면에 동시병행 공정으로 체결 시킨 후 용접대신 나사이음으로 간편하게 체결을 가능하게 할 수 있는 기술로서 부품 성형 공정 수를 줄여 생산단가를 낮출 수

있는 것은 물론 부품간 용접공정을 없앨 수 있다.

또한 기존의 공정에 다변수 병행공정을 접목하는 연구이므로 다양한 형상의 부품에 대한 실험과 해석을 통한 체계적 분석을 유한요소해석 프로그램인 Deform 3D 로 이용하여 hydro-embedding 공정을 소프트웨어적으로 모사함으로써 공정개발을 위한 실험적 결과를 지원하고 실험으로 증명할 수 없는 공정과정이나 구하기 힘든 공정관련 이론치를 구하고자 한다

이러한 hydroforming 의 병행 공정은 주요 공정 변수인 소재의 내부압력, 축방향 압입량 체결요소의 끝단 형상에 따른 체결력의 성형실험 값과 유한요소해석을 이용하여 분석함으로 최적의 체결요소의 형상을 얻는 것이 이번 연구의 목적이다.

2. 본 론

* 부산대학교 정밀기계공학과/정밀 정형 및 금형가공연구센터

2.1 실험 장치 및 장비소개

본 연구에 사용된 실험장치로서 4 주형 하향식 유압프레스 800KN 에 고압생성장치로 증압기 (intensifier 200Mpa)가 있으며, 좌우 양쪽에 800KN 의 hydraulic feeding cylinder 2 대에 feeding punch 가 장착되었고, 유압을 공급하는 serve hydraulic unit 등으로 구성된다. Fig 1 는 hydro-embedding 실험에 사용되었던 유압실린더와 금형을 나타낸 것으로 금형내에 펀치 실린더를 장착하였고 체결시 끝단 형상에 따른 성형 양상 차이를 비교하기 위해 Fig 2 의 총 4 가지 체결요소를 성형실험에 적용하였다. 그리고 금형의 표면과 펀치의 표면은 고주파 열처리를 하였다.

2.2 Hydro-embedding 성형실험

SAPH370 의 소재를 이용하여 Fig 2 과 같은 4 가지 형상의 체결요소를 체결하였으며 끝단 형상에 따른 flange 깊이와 인장실험을 통한 load 값으로 체결력을 평가하였다.

Fig 3 와 같이 최대 성형압력 50Mpa 과 전체 축방향 압입량을 5.5mm 로 예비성형 후 내부압력을 0 으로 압력을 낮춘 뒤 다시 내부압력을 36Mpa 전체 축방향 압입량을 5.8 mm 까지 작용을 시켜 성형 실험을 하였다.

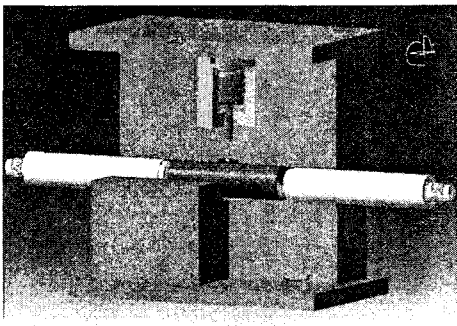


Fig. 1 Schematic drawing of hydro-embedding process

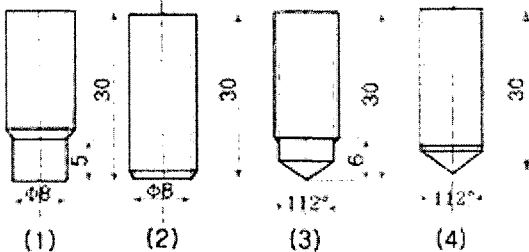
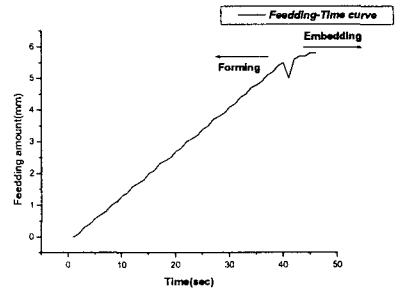


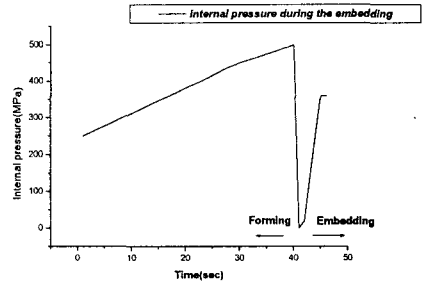
Fig. 2 Shape of clamping elements

2.3 Hydro-embedding 유한요소해석

본 연구에 사용된 유한요소해석 프로그램은 Deform 3D 로 hydro-embedding 체결요소의 끝단 형상에 따른 최종단계의 체결부 형상과 flange 깊이의 관계를 예측하기 위하여 Fig 4 와 같은 성형모델로 유한요소해석을 하였다.



(a)



(b)

Fig. 3 (a)Pressure-time curve (b)Feeding-time curve for hydro-embedding

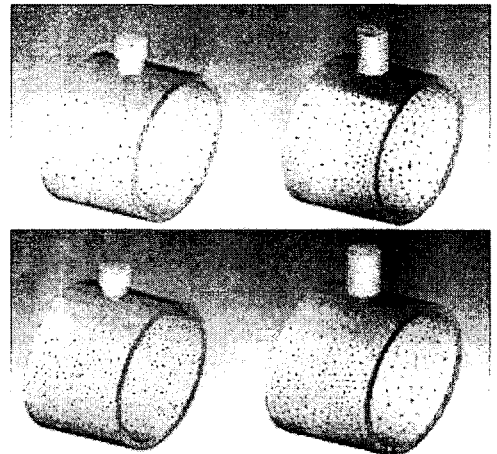


Fig. 4 View of clamping element obtained by FEM

3. 결과 및 검토

3.1 Hydro-embedding 공정 결과 분석

본 연구의 성형실험에서 내부압력과 체결요소 형상에 따라 Table 1 과 같은 flange 깊이와 체결력 크기가 나왔으며 체결요소의 체결부와 단면부는 Fig 5 와 같이 형성이 되었다.

3 번 형상에서 가장 깊은 flange 깊이와 높은 체결력이 나타났으며, 체결부 형상과 flange 의 깊이가 체결력을 결정 짓는 중요 요건이 되므로 유한요소해석 역시 이를 중점으로 분석하였다. 유한요소해석은 Table 2 의 세부 조건을 적용시켰고 그 결과 Table 3 와 같은 flange 깊이와 Fig 6, Fig 7 의 최종 체결부의 damage factor 값과 형상을 분석할 수 있었으며 실제 성형실험과 동일한 결과값이 나왔다.

Table 1 Flange depth and load for various clamping elements

clamping element	Flange Depth(mm)	Load(KN)
No.1	4.1	2.5
No.2	3.4	2.0
No.3	4.6	4.0
No.4	2.8	0.2

Table 2 Analysis conditions

Punch velocity	50mm/sec
Material	0.12 Carbon steel
Elements size	0.02mm
Nodes	15736
Punch displacement	15mm
Iteration method	Newton-raphson

Table 3 Flange depth for various clamping elements

clamping Element	No.1	No.2	No.3	No.4
Flange Depth(mm)	5.21	3.75	6.23	2.63

성형실험결과 3 번 형상의 flange 깊이와 체결부 경향이 가장 좋았는데, 이는 hydro-embedding 공정 시 tube 에서 소성변형이 점진적으로 발생하여 결국 전단이 일어나는데, 전단이 일어나는 과정에서 3 번 형상의 도식도인 Fig 8 의 part A 지점을 가압 전단 후 관재의 끝단부가 part B 에서와 같이 남아 있게 되므로, 지속적인 가압으로 인해 관재 끝단이 Fig 6 에서와 같은 flange 형상의 소성 변형이 일어나 이로 3 번의 형상의 flange 깊이가 가장 깊었고 이에 내부 압력이 작용하여 flange 를 가압시켜 체결요소의 표면(나사부)로 밀착시키기 때문에 flange 의 깊이가 가장 큰 3 번 형상의 체결력이 가장 크게 나왔다.

유한요소해석 결과 3 번 형상의 체결요소 해석에서 체결요소 압입 되면서 Fig 7 part A 부분에서

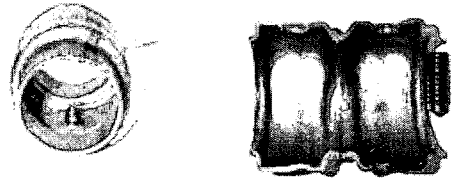


Fig. 5 Clamping part and cutting section

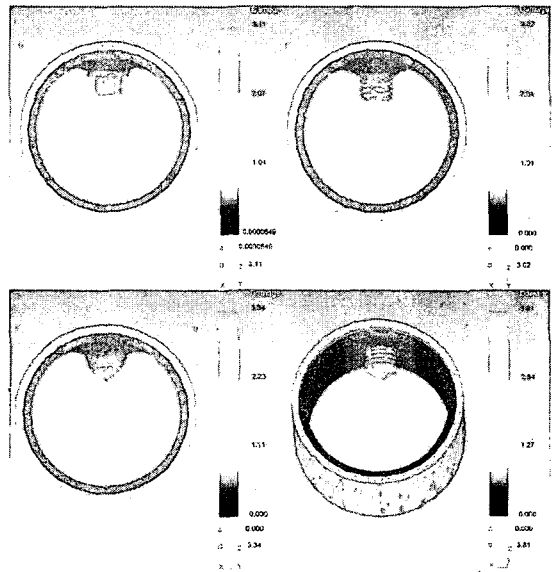


Fig. 6 Clamped element of the hydro-embedding test

먼저 1 차적으로 높은 load 가 발생한 후 약 4.5mm 의 flange 가 발생하였다. 7mm 정도 가압이 되면서 체결요소의 계단부인 fig 7 part B 부위에 2 차적으로 load 가 발생하여 약 1.7mm 의 flange 가 발생하였다. 성형실험 결과 flange 깊이는 2 차 load 값에 의해 발생이 되는 것으로 사려가 되었지만 해석결과 초기 압입량에 의해 flange 의 깊이가 좌우되는 것으로 나타났다.

그리고 체결부의 나선선 형상 역시 flange 깊이가 가장 깊은 3 번 형상에서 가장 뚜렷하게 나타났다.

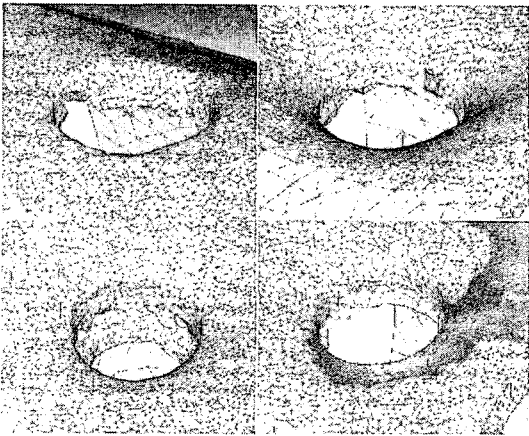


Fig. 7 Shape of pierced hole during hydro-embedding simulation

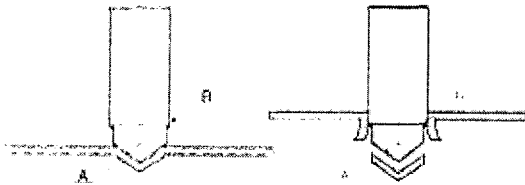


Fig. 8 Flange shape at an hydro-embedding process experiment

4. 결 론

본 연구에서는 유한요소해석 결과를 성형실험에 적용하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 체결요소의 끝단 형상은 피어싱과 동시에 flange 의 깊이가 가장 길게 성형된 형상의 체결력이 가장 높았다.
- (2) Flange 의 깊이는 체결력에 비례하였다.
- (3) 유한요소해석에서 체결요소형상에 따른 flange 의 깊이와 체결부의 나선선 형상의 차이가 발생 했다.
- (4) 유한요소해석 결과 3 번 형상의 체결요소에서 가장 뚜렷한 나선선 형상이 나타났다.
- (5) 유한요소해석 결과 flange 의 깊이는 초기 압입량에 큰 영향을 받는다.

참 고 문 헌

- (1) Bruggemann B., 1997, "Hydroformed Bo by Side Structure in Buick Park Avenue: Introducing New Technology to Current Production in a Complex product environment", pp.1~5, IBEC
- (2) Van Schaik M., 1997, "The Use of Hydroforming in the ULSAB Project", IBEC
- (3) 전기찬, 박판금속 성형, 반도출판사, 1993
- (4) 김봉준, 김정운, 문영훈, "관재의 hydro-forming 성형시 공정인자 영향도에 관한 연구", 대한소성가공학회 2001년 춘계학술대회 pp49~53
- (5) 권재욱, 명노훈, 이경돈, "하이드로포밍 공정 변수의 영향" 제 3 회 박판성형 심포지엄 논문집, pp31~42, Oct, 2000
- (6) 김윤주, 곽태수, 배원병, 2000, "파인 블랭킹에서 전단면에 미치는 다이 틈새의 영향에 관한 유한요소해석", 한국소성학회지, 제 9 권 제 2 호, pp.152-158