

튜브 스웨이징 공정의 유한요소해석

김민철¹ · 엄재근² · 임성주³ · 최호준³ · 전만수[#]

Finite Element Analysis of Tube Swaging

M. C. Kim, J. G. Eom, S. J. Lim, H. J. Choi, M. S. Joun

(Received September 1, 2011 / Revised January 19, 2012 / Accepted January 26, 2012)

Abstract

In this paper, a new approach to finite element analysis for tube swaging is presented. An analysis model is developed with emphasis on the pusher that imposes back pressure in order to keep the workpiece from slipping along the die-workpiece interface especially when tapered dies are used. A rigid-plastic finite element method is employed. The approach is to simulate the tube swaging process and the results are compared quantitatively with predictions, showing close agreement with each other.

Key Words : Finite Element Analysis, Swaging Process, Tube Forming, Back Pressing Force

1. 서 론

스웨이징(swaging) 공정[1]은 봉재, 튜브, 와이어 등의 단면 형상을 변화시켜서 여러 가지 형태의 제품을 생산하는 비절삭 금속성형 공정이다. 스웨이징 공정은 원형, 사각형, 테이퍼 등의 형상을 갖는 제품의 대량생산 및 경제적 생산에 매우 유리하다.

스웨이징 공정에 관한 연구는 주로 실험적으로 이루어져 왔다. 대표적인 응용 연구 결과를 소개하면, Ambom 등[2]은 승용차용 샤프트 부품의 생산에 적용한 스웨이징 공정에 관하여 연구하였으며, Lim 등[3,4]은 원형-원형 스웨이징 공정에 관한 실험적 연구를 실시하였다.

이러한 실험에 의존한 스웨이징 공정의 개발은 스웨이징 공정의 역학적 및 기구학적 배경이 비교적 복잡하기 때문에 필연적으로 다수의 시행착오를 동반한다. 이러한 문제의 해결을 위하여 유

한요소법을 이용한 공정 시뮬레이션 기술이 소수의 연구자들에 의하여 연구되었다. 기존의 연구를 분석하면, Grosman과 Piela[5]와 Piela[6]는 계산시간 절약을 위한 길이 방향에 대한 변형의 가정을 도입한 해석기법을 제안하였다. Cho[7] 등은 상용 소프트웨어 ABAQUS와 2차원 축대칭 가정에 근거한 내부에 고무가 포함된 스웨이징 공정 해석 기술을 제시하였다. Li 등[8]과 Jang 등[9]은 상용 소프트웨어를 사용한 해석기법의 응용 연구를 실시하였으나, 상세한 접근 방법을 제시하지 않았다.

스웨이징 공정은 금형 및 소재 운동의 복잡성과 점진성형으로 인한 계산시간상의 문제점이 있으므로 적절한 해석모델의 개발이 선행되어야 한다. 특히 경사진 금형으로 타격을 가할 때, 역학적 균형을 이루기 위하여 소재에 적절한 하중 조건의 부가가 필수적이다. 본 논문에서는 경사진 금형을 사용하는 역학적 불균형 상태의 스웨이징 공정 해석을 위한 해석모델을 제시하고 이를 원형

1. 경상대학교 일반대학원 기계공학과
2. (사)경상대 수송기계부품기술혁신센터
3. 한국생산기술연구원
교신저자: 경상대학교 기계공학부/공학연구원,
E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

-원형 스웨이징 공정(round-to-round swaging process) 해석에 적용함으로써 그 타당성을 검토하고자 한다.

2. 원형-원형 스웨이징 공정의 해석

2.1 해석모델

Fig. 1 에 해석용 스웨이징 공정의 개념도를 나타내었다. 스웨이징 공정은 내륜스핀들, 외륜스핀들, 롤러, 금형 등으로 구성되지만, 해석모델에서는 Fig. 2 에서 보는 바와 같이 스트로크 정보가 시간 함수로 부과된 금형과 소재의 이송을 제어하기 위한 후미금형, 즉 밀어주는 목적의 금형(pusher)으로 구성된다. 실제의 공정에서는 금형은 회전하면서 동시에 반경방향으로의 왕복운동을 할 수 있지만, 해석모델에서는 금형의 회전운동을 소재의 회전운동으로 대신하도록 하였다. 즉, 회전하는 금형을 기준으로 삼아서 다른 요소들의 상대 운동을 고려하였다. 그리고 소재를 적절한 길이만큼 자르되, 소재의 후미에 소재의 길이방향으로의 운동 제어 목적의 후미금형을 위치시켰다. 후미금형은 소재를 미는 역할을 하거나 금형에 의한 소재의 소성변형 시에 발생하는 소재의 후진을 적절한 하중을 가함으로써 통제하는 역할을 담당하도록 하였다.

후미금형은 금형이 소재와 닿지 않을 때는 소재를 스웨이징 방향으로 이송시키는 역할을 하며, 성형 중에는 소재를 잡아주거나 반발하중을 부여하는 역할을 담당한다. 금형이 비교적 크게 경사져 있는 경우, 소재에 미치는 힘이 초과되지 않으면 역학적으로 성형이 불가능하다. 이러한 경우에 후미금형에 하중이 부과되어야 하며, 그 하중의 크기는 후진한 소재의 거리의 함수에 의하여 조절되도록 하였다. 미는 금형에 부과된 하중은 가상체적력으로 처리하였다. 이 기능은 금형의 타격으로 인한 소재의 후진을 반영하는 목적으로도 사용된다.

스웨이징은 비교적 고속으로 이루어지지만 가속도의 영향을 무시하였으며, 재료는 강소성의 성질을 지녔고 von Mises 항복이론과 관련 유동법칙을 따르는 것으로 가정하였다.

Fig. 2 는 원형-원형 스웨이징 공정의 해석모델을 나타내고 있다. 해석모델은 소재, 펀치, 후미금형 등으로 이루어져 있다. 이 공정은 초기에 소재가 펀치의 경사면에 접촉하는 순간부터 일정 구간까지 후미금형이 없으면 해석이 역학적으로 불가능

하다. 실 공정에서도 소재와 금형 사이의 마찰이 크지 않을 경우 후미에서 소재에 어떤 종류의 구속을 가하지 않으면 미끄러지기 때문에 성형이 불가능하다. 반면, 극단적으로 소재의 후미의 자유도를 고정시킬 경우, Fig. 3에서 보는 바와 같이 경사진 금형에 의한 소재의 비현실적 소성변형이 예측될 수도 있다. 따라서 특히 시뮬레이션 초기에는 후미금형에 의한 역학적 균형 유지가 필요하다. 물론 후미금형은 재료의 운동을 전달하는 목적으로도 사용된다.

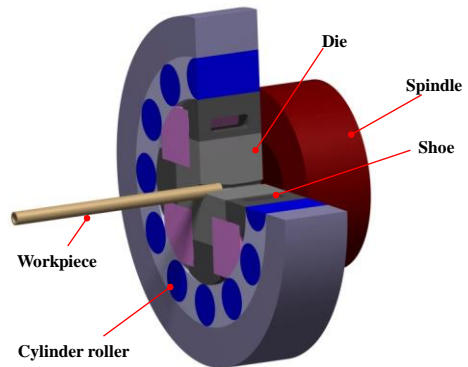


Fig. 1 Schematic diagram of a swaging process

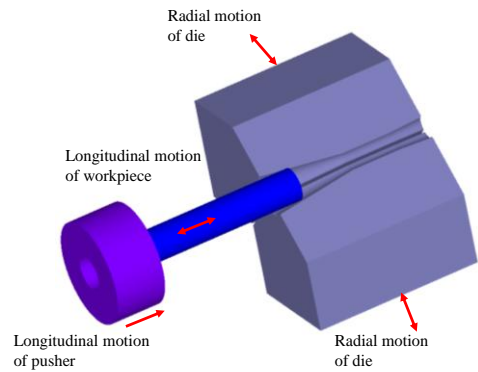


Fig. 2 Analysis model

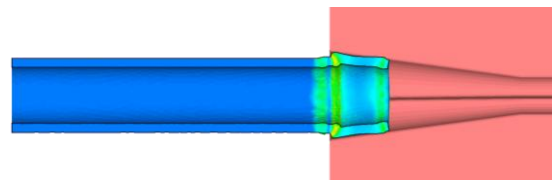


Fig. 3 Unrealistic predictions with the material ends fixed while being loaded by punches

Table 1 Material properties and the main process parameters

Shape size of workpiece	Diameter	19.1mm
	Thickness	2.31mm
	Length	100.0mm
Flow stress equation	$\bar{\sigma} = 712.9\bar{\epsilon}^{0.22}$ MPa	
Radial velocity of die (v_r^D)	Fig. 4 reference	
Longitudinal of workpiece (v_l^M)	Fig. 4 reference	
Angular velocity of workpiece (ω^M)	Fig. 4 reference	
Cycle time	1.11 s	
Back pressing force of pusher	Fig. 5 reference	
Coefficient of Coulomb friction	0.05	

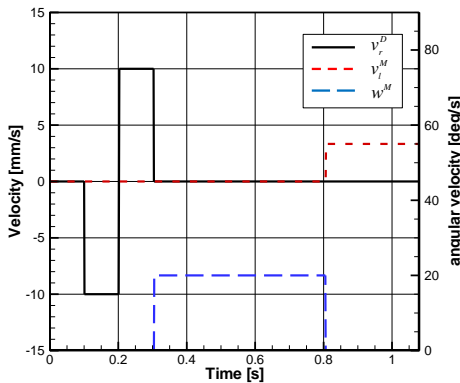


Fig. 4 Velocities of workpiece and dies with time

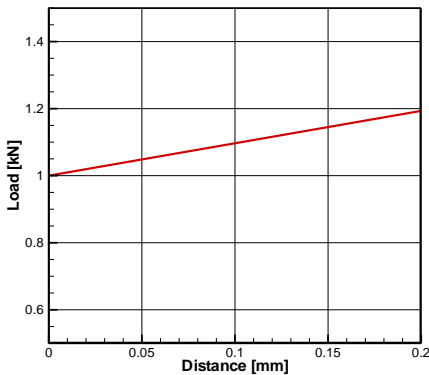


Fig. 5 Back pressing force exerted by the pusher with the movement of the back end of the workpiece

2.2 원형-원형 스웨이징 공정 해석

앞 절에서 제안된 해석모델을 평가하기 위하여 Lim 등[3,4]이 실험적으로 연구한 원형-원형 공정에 대한 유한요소해석을 AFDEX 3D [10]를 사용하

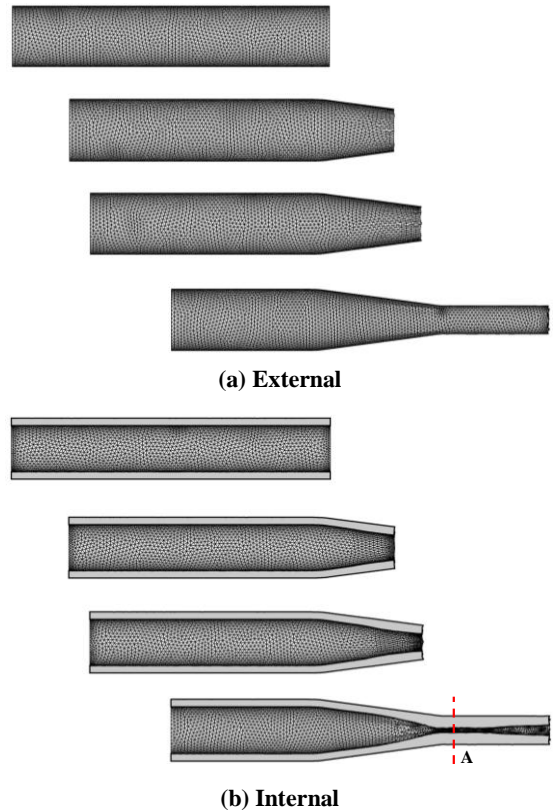


Fig. 6 History of deformation

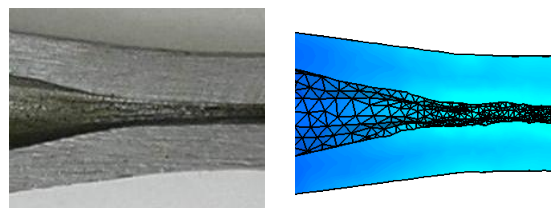


Fig. 7 Experiments of the round-to-round swaging process[4]

여 실시하였다.

해석에 사용된 재료의 물성치와 주요 공정 변수는 Table 1에 나타내었다.

Fig. 6은 변형의 이력을 나타내고 있다. 단면을 살펴보면, 초기의 내경은 경사져 있지만 이 경사진 구간을 지나면, 반경의 변화가 매우 작은 구간이 나타난다. 이러한 결과는 Fig. 7의 실험 [3, 4]에서도 동일하게 나타났다. Fig. 6(b)의 A 지점에서 외경과 두께의 예측치를 실험치와 비교하여 Table 2에 나타내었다. 수치는 실험에서 측정된 튜브 두께 3.75mm에 근접한 값으로 볼 수 있다. 그리고

Table 2 Comparison of predictions with experiments

	Experiment[4]		Prediction		Error [%]
	Before	After	Before	After	
Thickness [mm]	2.31	3.75	2.31	3.66	2.4
Diameter [mm]	19.1	9.00	19.1	8.90	1.1

Fig. 7의 해석결과의 내경에 주름이 잡혀진 것을 확인할 수 있는데, 이 역시 실험에서 나타난 것이다. 결론적으로 해석결과는 실험결과를 매우 잘 반영하는 것으로 사료된다.

3. 결론

본 논문에서는 스웨이징 공정의 유한요소해석 모델을 제시하였으며, 적용 예제로 원형-원형 튜브 스웨이징 공정에 대한 유한요소해석이 이루어졌다. 금형에 의하여 소재에 부과된 소성변형에 따른 소재의 후진을 반영하기 위하여 강성을 지닌 후미금형을 사용하였다. 이 후미금형은 소재의 강제운동뿐만 아니라 소재의 후진에 기인한 미는 힘을 부과하는 목적으로 사용하였다.

실험결과와 비교한 결과, 해석결과는 내경의 치수와 내경 주름 발생 등의 측면에서 실험결과를 잘 반영하였다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과이며, 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0017012).

참 고 문 헌

[1] A. L. Hoffmanner, 2005, ASM Handbook Volume 14A: Metalworking: Bulk Forming, ASM

Internatioinal, USA, pp. 156~171.
 [2] P. Ambom, S. K. Ghosh, I. K. Leadbetter, 1997, Modern Side-shafts for Passenger Cars: Manufacturing Processes II – Monobloc Tube Shafts, J. Mater. Process. Technol., Vol. 63, No. 1-3, pp. 225~232.
 [3] S. J. Lim, D. J. Yoon, K. H. Na, 1998, The Forming Characteristic of Rotary Swaging Process, Trans. Mater. Process., Vol. 7, No. 5, pp. 432~438.
 [4] S. J. Lim, H. J. Choi, C. H. Lee, 2009, Forming Characteristics of Tubular Product through the Rotary Swaging Process, J. Mater. Process. Technol., Vol. 209, No. 1, pp. 283~288.
 [5] A. Piela, F. Grosman, 1996, Spatial Modeling of Swaging Process using Finite Element Method applied to Axially-symmetrical Problems, J. Mater. Process. Technol., Vol. 60, No. 1-4, pp. 517~522.
 [6] A. Piela, 1997, Analysis of the Metal Flow in Swaging-numerical Modeling and Experimental Verification, Int. J. Mech. Sci., Vol. 39, No. 2, pp. 221~231.
 [7] J. R. Cho, J. I. Song, K. T. Noh, D. H. Jeon, 2005, Nonlinear Finite Element Analysis of Swaging Process for Automobile Power Steering Hose, J. Mater. Process. Technol., Vol. 170, No. 1-2, pp. 50~57.
 [8] R. Li, Z. R. Nie, T. Y. Zuo, 2006, FEA Modeling of Effect of Axial Feeding Velocity on Strain Field of Rotary Swaging Process of Pure Magnesium, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, Vol. 16, No. 5, pp. 1015~1020.
 [9] J. H. Jang, W. H. Kwon, Y. H. Moon, 2009, Proc. Kor. Soc. Mech. Eng. Fall Conf.(S. Y. Lee), Kor. Soc. Mech. Eng., Pyeongchang, Korea, pp. 1173~1178.
 [10] MFRC, 2010, AFDEX, <http://www.afdex.com>