

DEFORM을 이용한 로터리 스웨이징 공정의 시뮬레이션에 대한 연구

임동재*, 정원지*[#], 설상석*, 김대영*, 최경신*, 차태형*

*창원대학교

A Study on Rotary Swaging Process Simulation using DEFORM

Dong-jae Lim*, Won-Jee Chung*[#], Sang-Suk Sul*, Dae-Young Kim*, Kyung-Shin Choi*,
Tae-Hyung Cha*

*Changwon National University

(Received 19 April 2019; received in revised form 25 April 2019; accepted 24 May 2019)

ABSTRACT

Rotary swaging is a method of forging automotive drive shafts. In this paper, we propose a new two-hammer forging technique by applying the problem-solving approach TRIZ to improve the efficiency and productivity of the rotary swaging automation process. We will simplify the materials and hammers via the 3D modeling tool SolidWorks for high accuracy of a comparative analysis of existing and proposed methods under the same boundary conditions. In addition, we will compare the stress trends of the proposed model using ANSYS Workbench and verify the feasibility through a comparison of the simulation results using DEFORM. Relative to the existing method, the proposed method can decrease production costs and improve efficiency of the automation process by reducing the power source.

Key Words : DEFORM, 6 Step Creativity of TRIZ(6SC)(트리즈), Rotary Swaging Process(로터리 스웨이징 장비), Forging(단조), Plastic Deformation(소성 변형)

1. 서 론

자동차 부품 중 동력 전달 축인 Monoblock Tubular Shaft(MTS)는 엔진에서 발생된 토크를 바퀴로 전달시키고, 헨가장치의 완충에 따라 상하운동을 하며, 조향장치의 작동에 따라 각도변환이 가능한 차체 이음부분을 수반하는 자동차 축류 부품이다. 이러한 중공 샤프트는 트랜스미션과 차동 기어박스 사이에 장착되어 동력을 전달하며, 전륜구동과 후륜구동 및 4륜구동 시스템에 폭넓게 적용되

고 있다.^[1]

최근까지의 자동차 샤프트의 성형방법은 대부분 중실 샤프트의 사용 또는 튜브형 샤프트의 마찰용접방식, 튜브 인발가공 방식이 주를 이루고 있다. 중실샤프트의 경우 연비개선을 위한 경량화 측면에서의 경쟁력을 접할 수 없으며, 마찰용접방식은 진동 및 충격으로 인한 마찰용접부의 크랙 발생의 가능성으로 안전성 측면에서의 문제점이 발생한다. 또한 인발이나 압출 성형 방식을 사용한 샤프트의 성형으로는 가공 전 후 샤프트 두께의 변화가 소재 체적에 비례한 증가량만큼의 제한이 있다.^[2]

로터리 스웨이징 기술은 중공 소재를 이용하여 경량화에서의 이점을 얻을 수 있으며 이음매가 없는

Corresponding Author : wjchung@chanwon.ac.kr

Tel: +82-55-213-3624, Fax: +82-55-263-5221

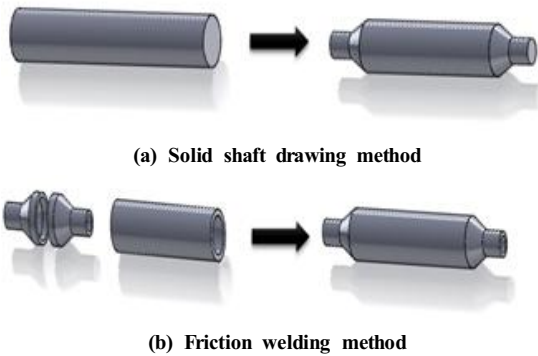


Fig. 1 Methods of forming an automobile shaft

점진적 가공 방법을 통해 마찰 용접방식의 이음부에서 발생하는 크랙의 발생을 방지하고 안전성도 증대된다. 또한 Steel 소재의 타격으로 인한 소성 성형 시, 단순한 체적변화량에 따른 두께변화 이상의 단면 두께를 확보할 수 있으며 이는 곧 강성의 증대 및 안전성의 증대를 의미한다.^{[3],[4]}

본 연구에서는 6SC(6단계 창의성 이론)를 적용한 실용 TRIZ기법을 이용하여 자동차 드라이브 샤프트의 가공 공정인 타발식 로터리 스웨이징 공정에서의 효율 개선 방안을 도출할 것이다. 그 후 SolidWorks[®]를 이용한 소재 및 장비의 모델링을 기반으로, 구조해석 Tool을 이용한 응력경향의 비교와, 소성해석 Tool을 이용한 단조 시뮬레이션을 통해 기존의 방법과 제안된 방법을 비교하며 개선된 안의 기술성을 검증할 것이다.

2. 로터리스웨이징 장비의 자동화 공정

로터리 스웨이징 성형은 기본적으로 해머의 왕복 운동에 의한 소재의 타격으로 이루어진다. 해머의 타격방식으로는 캠을 이용한 방식, 유압을 이용한 방식, 볼스크류를 이용한 방식 등 다양한 방식이 존재한다. 본 연구에 사용된 모델은 제품의 품질과 직결되는 진원도를 보장하기 위해 여러 방향의 정밀한 동시타격에 유리한 볼스크류 방식의 해머 타격방식의 모델이다.^[5]

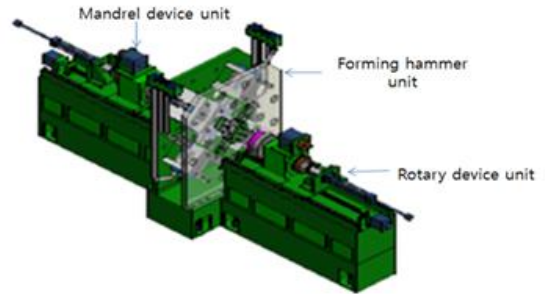


Fig. 2 Conventional apparatus of rotary swaging forging process^[2]

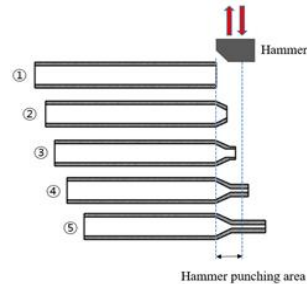


Fig. 3 Progressive forging processes

Fig. 2에 로터리 스웨이징 성형 공정 실험장치의 모습을 나타내었으며, Fig. 3에 로터리 스웨이징 자동화 공정의 점진적 성형 순서를 나타내었다. 성형의 준비과정으로 Material feeding device가 소재를 장비의 중심에 위치시킨다. 그 후 3개로 구성된 Forming Hammer가 소재의 축 중심방향으로 동시에 일정한 타격을 실시한다. 이에 맞춰 Material feeding device가 일정한 각도의 회전과 일정한 투입 속도로 소재를 밀어 넣음으로써 소재의 모든 면이 점진적으로 성형되게 된다. 자동화 공정의 구성에 있어 일정한 회전과 절입량, 그리고 3개의 해머에 의한 동시 타격은 제품의 진원도와 품질과 직결 될 수 있다.

3. TRIZ 기법을 이용한 자동화 공정의 효율 개선점 도출

실용 트리즈란 기존의 트리즈(창의적으로 문제를 해결하는 방법론)에서 어렵거나 활용도가 낮은 부

분을 과감히 제거하거나 수정하고 새로운 방법론을 추가한 ‘6단계 창의성(6SC : 6 Step Creativity)’을 적용한 실용적인 트리즈이다. 자동화 공정의 효율 개선에 대하여 6SC 표준양식에 맞춘 6단계(A-F)에 걸쳐 문제의 해결책을 도출 할 것이다.^[6]

3.1 문제를 그림으로 표현

타발식 로터리 스웨이징 장비의 기본 구성을 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 스웨이징 장비는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 장비 전체를 받쳐주는 Bed, 소재를 일정하게 이송 및 회전시키는 역할을 수행하는 Material feeding device, 120°의 간격으로 배치되며 수직방향으로 왕복 타격운동을 실시하는 Forming 해머로 구성된다. Fig. 5는 직접 소재의 성형이 이루어 지는 소재와 해머부만 간략화 하여 나타내었으며 빨간색으로 표시된 화살표는 타격 해머의 수직방향 왕복운동을, 파란색으로 표시된 화살표는 Material feeding device의 소재 이송, 회전운동을 나타낸다.

3.2 시스템 기능분석

시스템 기능분석은 기술시스템 및 목표대상, 환경요소로 구성되어 있다. 모든 기술시스템은 사각형으로, 목표대상은 둥근형, 환경요소는 육각형으로 표현된다.^[7] Fig. 6에 로터리 스웨이징 공정의 시스템

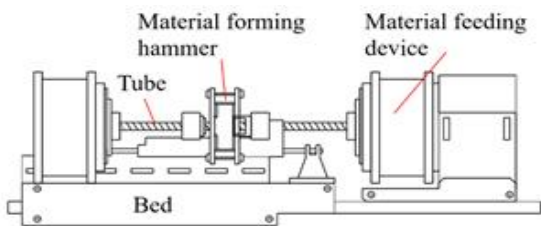


Fig. 4 Simplified rotary swaging equipment

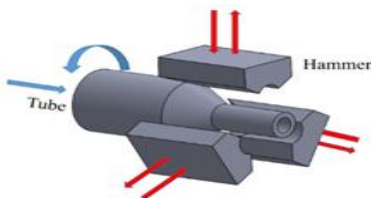


Fig. 5 Simplified forging method

템을 나타내었다. Forming Hammer와 Feeding Device, Bed, Motor를 기술시스템으로 설정하였고, 목표대상을 가공 대상인 Tube로 설정하였다.

3.3 이상 해결책 (IFR) 가정

이상해결책(IFR : Ideal Final Result)은 아이디어 도출과정에서 방향성을 제시하며, 방향성있는 연구는 직관을 촉진 시키는 역할을 한다.^[6]

Fig. 6의 시스템 분석으로 살펴보았을 때 공정의 생산성과 효율성을 높일 수 있는 이상해결책을 아래의 2가지로 가정해 보았다.

- (1) 성형에 사용되는 해머의 수가 많으면 소재의 생산속도를 올릴 수 있다.
- (2) 사용되는 동력을 최소화 하여 생산에 필요한 비용을 줄인다.

3.4 모순

트리즈에서 모순은 중요한 개념 중의 하나로 꼽히며, 목표로 하는 시스템에서 어느 한 특성을 개선하고자 하면 그 시스템의 다른 특성이 약화되는 상황을 말한다. 모순은 기술적 모순과 물리적 모순이 있다.^[8] 기술적 모순은 서로 다른 Parameter들이 충돌하는 것인 반면 물리적 모순은 어떤 하나의 기술적인 변수가 서로 다른 값을 가져야 하는 경우이다.^[6] 로터리 스웨이징 시스템에서는 성형해머의 수가 많아야 한번에 가공하는 면적이 넓기 때문에 소프트 성형 공정의 시간이 줄어들어 생산성이 향상되는 반면, 그와 동시에 성형에 사용되는 해머의 수가 많으면 해머를 움직이는데 필요한 동력원의 개수가 많아져 성형 공정에 들어가는 생산원가가 늘어나게 되는 기술적 모순이 발생하게 된다.

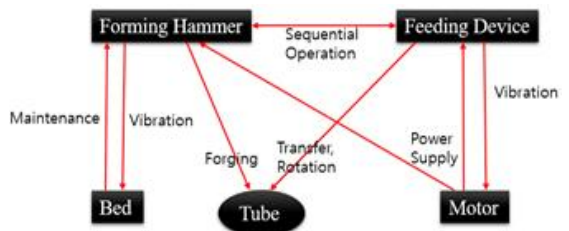


Fig. 6 A system functional analysis of the rotary swaging system

3.5 요소-상호작용 분석

Fig. 7은 로터리 스웨이징 시스템의 핵심 요소인 Forming Hammer, Feeding Device와 공정 효율의 요소-상호작용에 대한 그림이다. 제품의 생산 효율에 영향을 미치는 각 요소의 변수들을 그림에 나열하였고, 본 논문의 목표인 로터리 스웨이징 장비 자동화 공정 효율 향상에 영향을 주는 변수로 Forming Hammer의 수와 Feeding Device의 소재 회전 각도 등이 있는 것으로 분석되었다.

3.6 해결책과 평가

6SC의 5단계계를 통하여 도출된 문제에 대한 여러 가지 해결책과 변수를 최종적으로 선택하고 평가하는 것은 아주 중요하다.^[8] 성형 공정 효율을 향상시키는 변수의 선정에 있어서 고려해야 할 사항은 단순한 성형속도의 향상 뿐만 아니라 성형속도의 향상에 필요한 경제적인 측면도 고려해야 한다. 성형 해머의 수가 많으면 한번에 성형 할 수 있는 면적이 늘어나서 생산성이 올라가지만, 해머를 움직이기 위해 많은 동력원을 필요로 하게 된다. 동일한 생산속도를 가진 자동화 시스템상에서 필요한 동력원을 줄일 수 있다면 자동화 시스템의 효율을 개선할 수 있을 것이다. 이에 따라 아래와 같은 해결책을 제시하고 해석 Tool을 이용하여 검증하고자 한다.

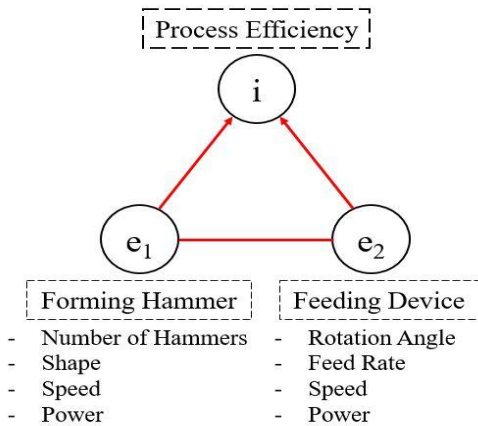


Fig. 7 Element-Interaction of Rotary Swaging System

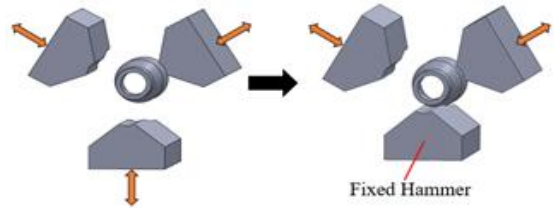


Fig. 8 Suggested Solution

(1) 단조에 이용하는 해머의 수는 3개로 유지한다. 하지만 3개의 해머 중 하부에 위치한 1개의 해머를 고정시키고, 상부 2개의 해머로 타격하는 경우에도 제품의 품질에 변화가 없다면 필요한 동력원의 개수를 줄일 수 있다.

4. 구조해석을 통한 응력 경향 비교

6SC를 적용한 TRIZ 기법을 통하여 도출한 하부 해머 한 개를 고정시키는 방안과 기존의 안을 Fig. 8에 나타내었다. 도출된 방안에 대해 검증하기 위하여, 먼저 3개의 해머가 직선왕복운동을 하며 소재를 타격하는 기존의 성형 방식에 대한 해석을 진행하였다. 해석에 적용된 변수들을 Table. 1에 나타내었다.

Fig. 9는 ANSYS Workbench[®]를 이용한 3-Hammer 타격 방식 응력 해석 결과의 측면을 나타낸 것이다. 응력은 모든 방향에서 균일하고, 일정한 변형을 가진다. Fig. 10은 3-Hammer 타격 방식 결과의 정면과, 그 단면을 나타낸다. 중심 축을 기준으로 균일한 응력 분포를 가진다.

Table 1 Simulation Condition

Parameter	Unit	Value
The material of Tube	-	SM15B
The material of Hammer	-	SM45C
Outer diameter of Tube before forging	mm	38.1
Outer diameter of Tube after forging	mm	28
Thickness of material	mm	3.4
Forging Speed	RPM	100
Forging Force	Ton	2
Split angle	°	30

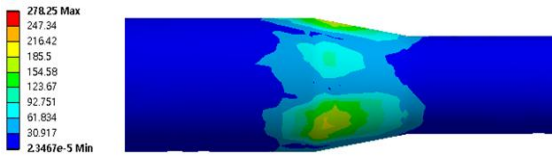
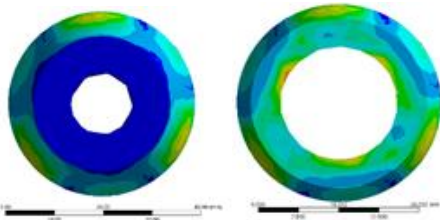


Fig. 9 Side view of equivalent stress in 3-hammer forging method



Figs. 10 Front view and cross-sectional view of equivalent stress in 3-hammer forging

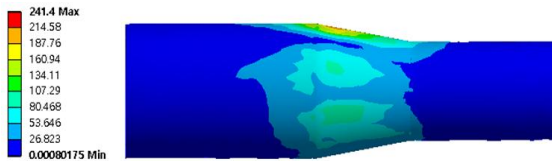
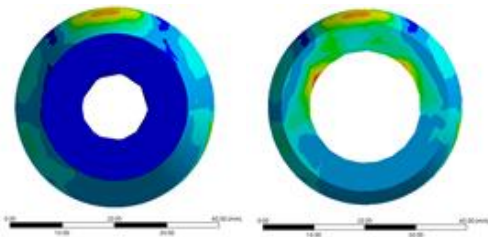


Fig. 11 Side view of equivalent stress in 2-hammer forging method



Figs. 12 Front view and cross-sectional view of equivalent stress in 2-hammer

Fig. 11은 2-Hammer 타격 방식 결과의 측면을 나타낸 것이다. 3-Hammer 방식과 마찬가지로 응력은 모든 방향에서 균일하고, 일정한 변형을 가진다. Fig. 12는 2-Hammer 타격 방식 결과의 정면과, 그 단면을 나타낸다. 3-Hammer 타격 방식과 값이 큰 차이가 없고, 중심 축을 기준으로 균일한 응력 분포를 가진다.

5. 소성해석을 이용한 기존안과 개선안의 시뮬레이션

앞에서 진행한 ANSYS Workbench[®]를 활용한 해석은 순차적인 동작에 대한 동적인 분석 진행 시 해석 시간이 매우 오래 걸릴 뿐만 아니라, 값의 수렴이 어려워 소성변형에 대한 정확한 값을 기대하기 어렵다. 본 장에서는 소성해석 전용 Tool인 DEFORM[®]을 이용하여 기존의 3-Hammer 방식과 제안하는 2-Hammer 방식의 해석을 진행 하여 비교하였다. 해석에 사용한 변수는 Table 1에 나타내었다. 성형공정은 28mm의 성형 후 직경을 가지는 구간이 10mm가 되는 140mm 절입시까지 진행하였다.

Fig. 13에 3-Hammer 방식의 성형결과 측면부를 나타내었다. 응력은 모든 면에서 균일하게 가해지는 것을 확인했다. Fig. 14에 2-Hammer 방식의 성형결과 측면부를 나타내었다. 3-Hammer 방식과 같이 모든 면에서 균일한 응력과 변형이 발생하였다. Fig. 15에 3-Hammer 방식과 2-Hammer 방식 성형 결과의 단면을 나타내었다. 단면상의 지름 8개 포인트 측정결과 3-Hammer 방식의 평균값은 26.96mm, 2-Hammer 방식의 평균값은 27.27mm로 목표 값인 28mm±1.5mm를 만족한다. 2-Hammer 방식과 3-Hammer 방식의 결과값 모두 목표를 만족하며, 큰 차이가 없으므로 2-Hammer 방식의 적용가능성을 확인하였다.

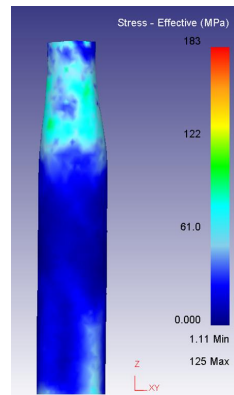


Fig. 13 Side view of equivalent stress in 3-hammer forging method

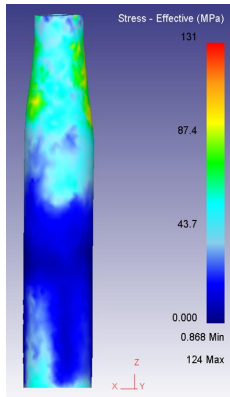


Fig. 14 Side view of equivalent stress in 2-hammer forging method

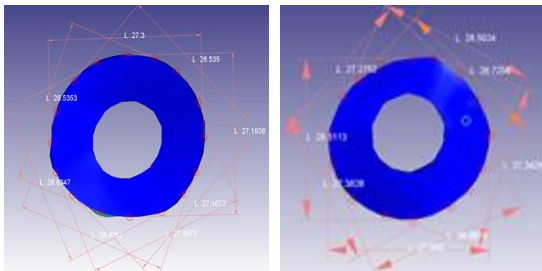


Fig. 15 Cross-sectional comparison between 3-hammer method and 2-hammer method

5. 결 론

본 논문에서는 로터리 스웨이징 장비의 개발에 있어서 장비의 효율을 높이는 방안에 대한 연구를 진행하였다. 트리즈 기법을 이용하여 로터리 스웨이징 장비의 구성요소에 대한 초점을 맞춰 효율성 개선 방안을 연구하였다. 해머의 개수가 늘어나면 한번에 성형하는 면적이 넓어서, 성형에 필요한 시간이 줄어든다. 그에 따라 해머의 직선 왕복타격운동을 위한 동력원의 개수가 늘어나 생산원가 역시 늘어나게 된다. 이러한 모순을 해결하기 위해 소재의 타격면적과 직결되는 해머의 수는 3개로 유지하여 제품의 생산속도는 유지하되, 하나의 해머는 고정시키므로서 동력원의 개수를 줄여 생산원가를 줄이는 방안을 제안하였다.

비교분석에 앞서서, 해석 시간과 정확도를 늘리

기 위해 간략하게 해머와 튜브를 모델링 하였다. 구조해석 Tool인 ANSYS®를 이용하여 응력의 경향을 비교하였고, 타격점 기준 10MPa 이내의 응력 차이가 있었다. 해석 정밀도를 검증하기 위하여 소성 전용 프로그램인 Deform을 이용한 해석을 수행하고 결과를 비교하고자 하였다. 결과로 보여졌듯이, 단면상의 8개 지점 지름 측정결과, 3-hammer 방식은 평균 26.96mm, 2-hammer 방식은 평균 27.27mm가 측정되었다. 이는 목표 값인 28mm±1.5mm를 만족하였다. 이를 통해 1개의 동력원을 줄이는, 즉 자동화 공정의 생산원가를 줄여 장비의 효율을 높이는 방안을 검증하였다.

후 기

“이 논문은 2019년도 창원대학교 산학협력단 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Lim, S. J., Lee, N. K. and Oh, T. W. and Lee, J. H., “Forging Process of the Automotive TDS (Tube Drive Shaft) by the Rotary Swaging Process”, The Korean Society For Technology of Plasticity, Vol. 12, no. 6, pp 558-565, 2003.
2. Sul, S. S., “A Study on 4-Hammer Radial Impact Forging Method for Development of Monoblock Tubular Shafts for Vehicle”, A Thesis for a Doctorate, Changwon National University, Jun 2017.
3. Hebdzynski, R., Kajzer, S. and Kozik, R. "Forging on the four-lever arms swaging machines", Journal of Materials Processing Technology., Vol. 64, No. 1/3, pp.199-206, 1997.
4. Lim, S. J., Yoon, S. J., Na, N. H., “The Forming Characteristic of Rotary Swaging Process”, The Korean Society For Technology of Plasticity, pp.273-280, 1997.
5. ASM Metals Handbook, Forging, "Rotary Swaging of Bar and Tubes", Vol.4, pp.333~346, 1969.

6. Kim, H. J., “Practical TRIZ with 6 levels of creativity”, February 2006.
7. Lee, S. J., Chung, W. J., Kim, H. J., Kim, G. G., Kim, J. H. “A Study on Optimal Design of Piece Removing Automation System Using TRIZ and Brainstorming, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 17, No.6, December 2008.
8. Chung, W. J., Kim, J. M., Park, K. B., Ju, J. H., Sin, O. C., “A Study on design of polishing film transfer guide by using TRIZ”, Korean Society Of Precision Engineering, 2006.