

## 단조 해석을 통한 비대칭 날개면 용접 너트의 최적 공정 설계

박종혁<sup>#</sup> · 서재윤<sup>1</sup> · 설주연<sup>1</sup> · 황우성<sup>1</sup> · 이광희<sup>1</sup> · 김진용<sup>1</sup>

### Development of an Unparalleled Shape Weld Nut Optimized by Forging Analysis Tool

J. H. Park, J. Y. Seo, J. Y. Seol, W. S. Hwang, K. H. Lee, J. Y. Kim

(Received September 28, 2017 / Revised November 7, 2017 / Accepted March 13, 2018)

#### Abstract

In the cold forming process, it is not easy to fabricate a asymmetric type nut, due to the difficulty in the exact prediction of metal-flow. As we have identified, in that case, it often results in the various forging defects such as burrs, and an incomplete shape, as well as other problems because of this issue. In the current study, we introduce the development of an unparalleled shape Weld Nut by using a forging analysis tool (AFDEX). For the multi-forming machine, the optimized shapes of each intermediate product (step product) could be found by the use of a model for the prediction and analysis of various types, sizes and heights. Chiefly, forging tools were prepared based on the simulation results and an unparalleled shape could be prepared at one time without any burrs, incomplete shape and size.

Keywords: Cold Forming Process, Forging analysis tool (AFDEX), Unparalleled shape Weld Nut

## 1. 서 론

냉간 단조(Cold Forging)는 금속 소재를 재결정 온도 이하의 온도 또는 상온에서 금형 등으로 압력을 가해 소성 변형시킴으로써 원하는 형상의 제품을 만드는 기술이다. 냉간 단조로 형성된 제품은 단류선이 연속적이고 조직이 치밀해 주조 기술로 제조된 제품보다 강도가 뛰어나고, 비교적 높은 치수 정밀도와 부드러운 표면의 제품 제작이 가능하다[1~3]. 최근 정밀 냉간 단조 기술의 발전으로 종래 열간 단조 후 절삭 공정으로 최종 제품을 생산하던 방식에서 절삭 공정 추가 없이 냉간 단조로 완성하는 제품들이 늘어나고 있으며, 기존 연강에서 보다 강한 원소재(고 탄소강, 합금강 등)의 사용을 통한 고

강도 제품 제조도 꾸준히 진행 중이다.

일반적으로 복잡한 형상의 제품을 냉간 단조로 생산하는 경우 여러 단계의 성형 과정을 연속적으로 진행(다단 단조)하여 최종 제품을 만드는 경우가 많으며, 와이어(wire) 소재를 사용한 볼트, 너트류가 대표적인 예이다. 냉간 다단 단조 공정은 상온에서 여러 단계를 통해 소성 변형이 되기 때문에 금형 수명의 향상을 위해서는 각 단계별 성형 하중의 분배가 중요하며, 결합 없는 최종 완제품을 얻기 위해서 중간 단계에서의 성형 형상 및 결합 관리 또한 주요 기술이다. 이러한 중간 단계에서의 결합을 방지하고 시행착오를 줄이기 위하여 이론적인 해석을 통하여 사전에 보다 최적화된 공정을 설계하는 노력들이 오래 전부터 진행되어 왔으며

1. ㈜풍강

# 교신저자 : ㈜풍강 기술연구소 부장, E-mail : jjang@pungkang.com

수치해석적 방법에 기반한 다양한 솔루션들이 활용되고 있다[4~8].

본 연구에서는 유한요소법(F.E.M) Solver를 기반으로 2차원, 3차원적인 소재의 유동 해석 및 금형의 구조 해석이 가능한 Metal Forming Research Corporation (MFRC) 사의 솔루션(AFDEX\_V16R01)을 사용하여 비대칭 날개면 용접 너트의 공법 설계를 진행하였다. 또한 각 단계별로 주요 문제점을 분석하여 최적의 공정 조건을 도출하였다[10~11].

## 2. 제품의 특징 및 해석 방법

### 2.1 제품의 특징

비대칭 날개면 용접 너트는 주로 자동차의 REAR ARM BODY 샴시에 용접이 되어 사용되고 있는데, 5단 이상의 정밀 단조 공법이 적용되는 다단 냉간 단조 기술을 통해 만들어진다. 또한 날개면 바닥에 위치한 돌기 부분의 형상이 용접 돌기의 기능을 가지고 있으며, 용접 후 일정 수준 이상의 용접 이탈 하중이 요구되는 제품이다.

Fig. 1은 비대칭 용접너트의 형상을 나타내고 있다.



Fig. 1 Unparallelled-shape Weld Nut Image

### 2.2 해석 방법

비대칭 날개면 용접 너트의 재질은 S1021B 탄소강 선재를 사용하였다. 일반적으로 금속의 냉간 단조 소재의 경우 표면에 인산화 비누 윤활제라고 부르는 본데라이트 또는 오일로 완전 윤활할 때 마찰계수 값의 범위가 0.05~0.15로 알려져 있고[9], 금형과 원소재에 작용하는 일정 전단 마찰을 가정하여 마찰계수(friction coefficient) 값을 전체 단계에 대하여 0.1로 가정하고 해석을 진행하였다. 원소재의 성분 및 주요 물성은 아래 Table 1과 같다.

Table 1 Composition and mechanical properties of material

Material	Chemical composition(%)				
	C	Si	Mn	P	S
	X100			X1000	
S1021B	20.53	40.9	62.3	10	3.7
Physical properties					
Tensile strength	Elongation		Section shrinkage	Hardness	
58.2kgf/mm <sup>2</sup>	15%		69.9%	HrB92	

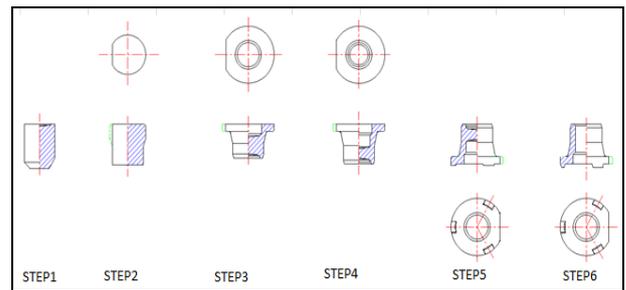


Fig. 2 Multi-step forming process design of case-1

## 3. 최적 공정 설계를 위한 해석 비교

### 3.1 비대칭 날개면 선 성형 안(Case-1)

일반적으로 비대칭 날개면 용접 너트를 냉간 단조하는 공법은 비대칭부의 성형에 영향을 미치는 용접돌기 성형을 어느 단계에서 진행하는가가 중요한 사항이며, 이를 바탕으로 단계별 성형 형상 및 성형 부하를 최적화 하는 것이 핵심이다. Fig. 2는 비대칭 날개면을 먼저 성형하고 용접돌기를 후반 단계에 성형하는 방식의 단계별 성형도이다(Case-1).

Fig. 3은 STEP1 공정에 대한 성형해석 결과로 그림과 같이 원형 비대칭 각도 형상을 적용하였다. 상기의 비대칭 형상은 STEP2에서도 유지하였고, 이때 비대칭 날개부에서 BURR가 발생되지 않도록 성형 하중을 설계하였으며, 이때의 하중은 약 37 Ton 수준이었다(Fig. 4).

Fig. 5는 STEP2 까지 진행한 후의 해석 결과에 대한 모델링 이미지이다.

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 STEP3 후의 해석 결과 및 해석 결과에 대한 모델링 이미지이다. 형상 관점에서 취약할 수 있는 비대칭을 이루는 부위가 STEP3

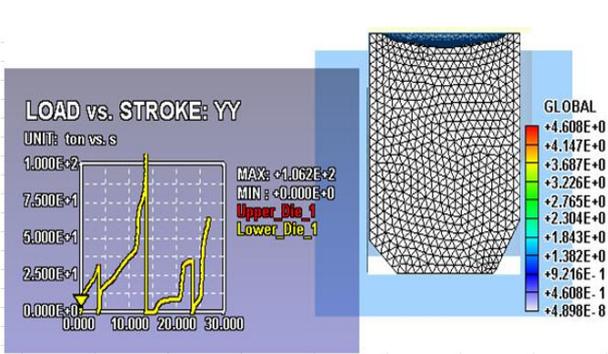


Fig. 3 Simulation analysis results in STEP1

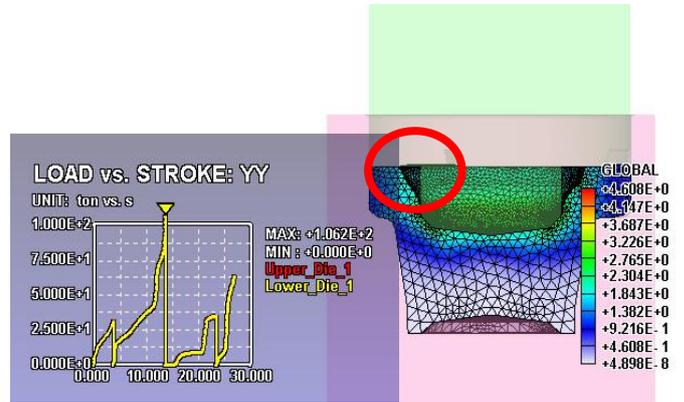


Fig. 6 Simulation analysis results in STEP3

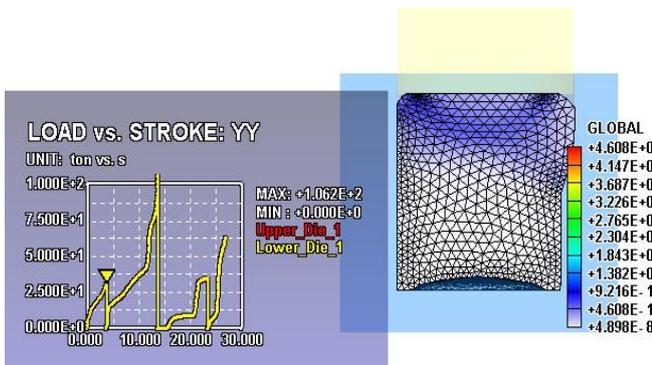


Fig. 4 Simulation analysis results in STEP2

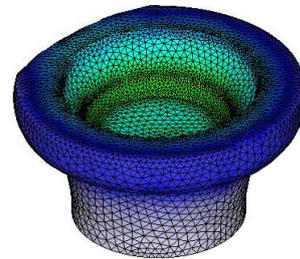


Fig. 7 3D Modeling image of STEP3

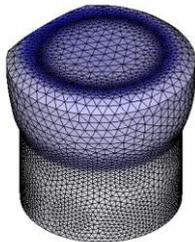


Fig. 5 3-D Modeling image of STEP2

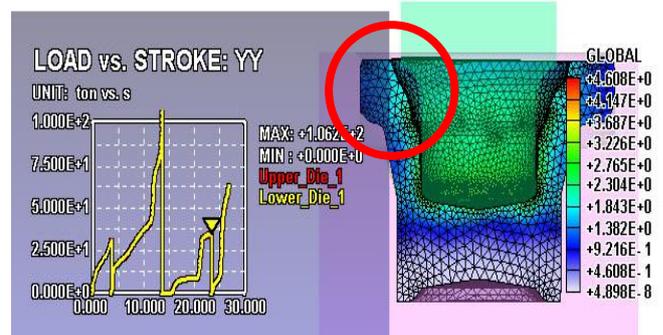


Fig. 8 Simulation analysis results in STEP4

공정에서 외형부의 성형성에는 문제가 없는 것으로 나타났으나, 내경쪽에서 벌어지는 현상(터짐 현상)이 관찰되었다(Fig.6 적색원 부분). 이러한 내경부 터짐 현상은 업셋팅 공법으로 카운트보어와 플랜지를 동시에 성형시 소재의 흐름에 의한 전형적인 확장 현상으로 알려져 있는데 이를 제거하는 것이 금형 설계의 핵심 노하우이다. 이때 성형 하중은 약 110 Ton 수준으로 나타났다.

Fig. 8은 STEP4 공정에 대한 해석 결과인데, 본 단계에서는 후방 압출 방식으로 너트 전체의 높이를 완성하게 된다. 전체적으로 높이에 대한 치수 확보

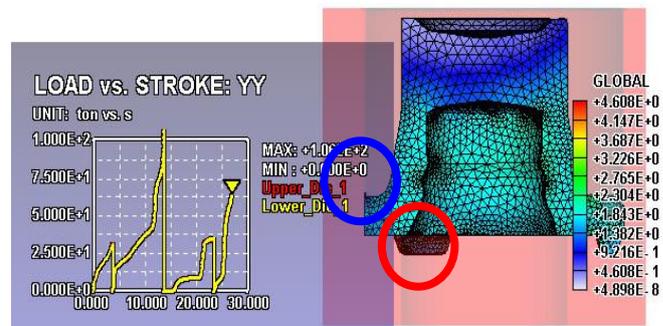


Fig. 9 Simulation analysis results in STEP5

는 큰 문제가 없는 것으로 나타났으나, Fig. 8의 적색 타원 안쪽 부분에서 보이듯이 STEP3 단계에서 발생한 내경 터짐 현상은 없어지지 않고 계속 남아있는 것을 확인할 수 있다. STEP4에서의 성형하중은 약 34 TON으로 분석되었다.

STEP5 공정은 용접 돌기를 성형하는 단계인데, Fig. 9에 성형해석 결과를 나타내었다. 본 결과는 성형 하중이 약 63 TON에서의 해석 결과인데, 용접 돌기가 요구되는 수준의 체적이 확보되지 않는 것으로 확인되었으나(적색원 부분), 날개 반대면 위쪽에서는(파란색 원 부분) Burr가 발생하는 것이 확인되었다.

상기에서 기술한 바와 같이 비대칭 날개면 선 성형 안(case-1)의 경우 나타나는 단계별 이슈 사항들을 확인하고, 용접 돌기를 먼저 성형하는 공법을 추가적으로 시뮬레이션하여 비교 검토하였다.

### 3.2 용접 돌기 선 성형 안(Case-2)

용접돌기 선 성형 안의 Case-1과의 주요 차이점은 용접 돌기의 성형을 STEP5에서 STEP3으로 이동하여 비대칭 날개면 및 용접돌기 형성을 하나의 공정 STEP에서 진행하는 방식이다.

Fig. 10은 용접 돌기 선 성형 안(Case-2)에 대한 단계별 성형도이다.

Fig. 11, Fig. 12는 각각 STEP1 및 STEP2 공정에서의 성형해석 결과이다. STEP 3 공정에서의 용접 돌기 성형시 나타날 수 있는 BURR 발생 방지를 위해 하중을 줄이는 방향으로 진행하였다(STEP 2의 성형하중은 약 15 TON이었다).

Fig. 13은 STEP3 공정에서의 성형해석 결과이다. Case-1 공정과의 가장 큰 차이점은 용접 돌기 성형 부분으로 반대쪽에 BURR가 발생하지 않는 범위로 하중을 가하는 쪽으로 진행하였으며(성형 하중은 약 134 TON이었음) 원하는 치수의 용접 돌기는 형상이 형성되는 것을 확인할 수 있었다.

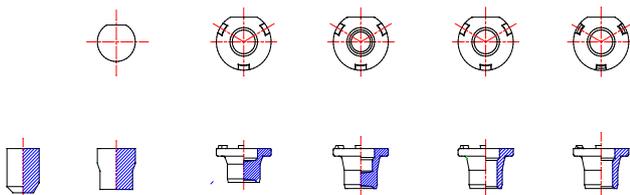


Fig. 10 Multi-step forming process design of case-2

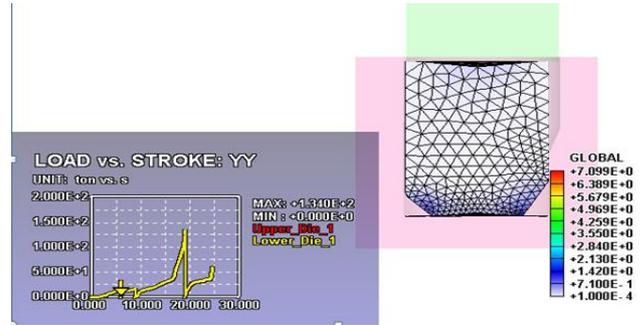


Fig. 11 Simulation analysis results in STEP1

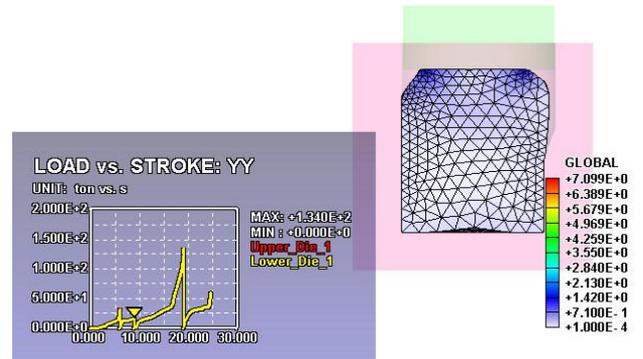


Fig. 12 Simulation analysis results in STEP2

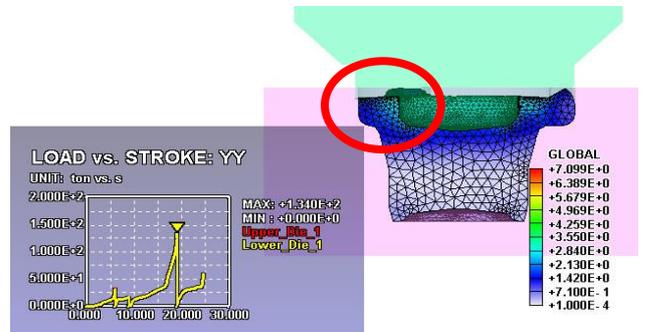


Fig. 13 Simulation analysis results in STEP3

또한 용접돌기 형성을 위해 추가된 펀치 부분의 오목한 형상을 활용하여 소재의 흐름을 억제함으로써 비대칭 부부의 카운트 보어부 확장 현상을 억제할 수 있었다.

Fig. 14는 STEP4 공정에서의 성형해석 결과인데, 해석 이미지를 통해 전체 높이를 확보하는 단계에서도 내경부 터짐 현상이 발생하지 않는 것을 알 수 있었다. 또한 성형시에 펀이 내경부를 밀착 후 전진하는 방식이 아닌, 펀치부 전체를 밀착하여 안착하고 후방압출을 시작하는 방법을 적용하였는데, 이를 통해 내경부의 변화가 최소화되는 것도 확인할 수 있었다.

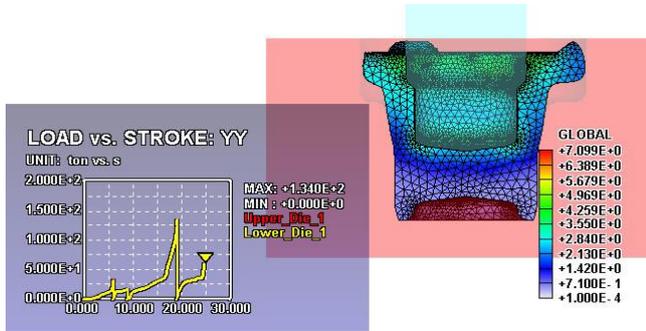


Fig. 14 Simulation analysis results in STEP4

#### 4. 해석 비교 결과 및 실제 제작 결과

##### 4.1 해석 비교 결과

본 연구에서 진행한 비대칭 용접너트 성형을 위한 단조공법 설계의 주요 포인트는 아래의 2가지로 요약할 수 있으며, 이를 위한 보다 효과적인 방법을 시뮬레이션을 통해 사전에 비교 검토할 수 있었다.

- 1) 비대칭 날개 형상과 함께 핵심 기능으로 작용할 용접 돌기 부분의 치수의 확보 방법
- 2) 밀폐단조 상태에서 흔히 발생하는 소재 흐름에 의한 내경확장 방지 방법

성형도 상에서 볼 수 있듯이 case-1의 경우 STEP5에서 용접돌기 성형이 부족할 경우, 성형 하중을 증가시키면 BURR가 발생하게 되고 결국 앞단계 STEP들의 성형 형상을 다시 바꾸어야 하는데, STEP2까지 거슬러 올라가는 형태로 진행이 되었다. 이 경우 STEP2 ~ STEP5까지의 형상이 상호 연계되어 영향을 주게 되어 시뮬레이션 상에서 최적의 조건이 확보되어도 실제 단조과정에서 전체 STEP에서 완벽하게 일치된 성형형상 확보가 쉽지 않을 것으로 판단되었다. 반면에 case-2의 경우는 STEP3에서 최적의 조건을 확보하게 되면 이후 단계에서는 높이 치수만 확보하면 되기 때문에 형상 유지 측면에서 상대적으로 유리하다. 실제로 본 연구에서는 STEP3에서 충분한 사전 시뮬레이션을 통해 최적의 성형 형상을 확보함으로써 실제 단조과정에서 빠르게 작업 진행이 가능하였다. 그리고 날개를 퍼면서 용접돌기를 형성하는 공정을 하나의 공정 STEP에서 진행함으로써, 마지막 STEP6을 활용해서 용접돌기 치수를 최적화하는 공정을 추가할 수 있었다.

또한 case-2 방식에서는 용접돌기 형성을 위해 추가된 펀치 부분의 형상 활용을 통해서 공기의 효과

적인 배출을 유도할 수 있었고 이를 바탕으로 비대칭 부분의 내경 부 터짐 현상을 억제할 수 있었다.

##### 4.2 실제 제작 결과

Fig. 15는 용접 돌기 선 성형(Case-2) 방법으로 실제 단조 단조 공정을 통해 제품을 제작한 결과이다. 사전 성형해석을 통해서 설계되었던 사항들이 실질적으로 구현되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Case-2 방식의 경우 중간 단계 성형물이 턴(Turn)이 필요없는 단순 이동으로 구현되어 이송도 안정적으로 진행되는 것으로 나타났다.



Fig. 15 Image of Actual Forging Result

#### 5. 결론

본 연구에서는 비대칭 날개면 용접너트의 제작을 위해 3차원적인 소재의 유동 해석이 가능한 해석 툴을 이용하여 최적의 단조 공법을 설계할 수 있었다.

날개면을 가지는 용접너트 제작에 흔히 사용되는 2가지 공법을 시뮬레이션으로 비교 검토한 결과 비대칭 날개면의 형성, 용접돌기 치수의 안정적인 확보, 카운트보어 내경 확장 억제등의 관점에서 용접돌기를 사전에 성형하는 방식이 유리한 것을 확인할 수 있었다. 또한 시뮬레이션 내용을 바탕으로 실제 제품을 제작한 결과 동일한 거동을 보여 적은 비용으로 단기간에 제품 제작을 완료할 수 있었다.

본 연구결과를 바탕으로 향후 유사한 형상 제품의 단조시 기본적으로 확대 적용이 가능할 것으로 판단된다.

#### REFERENCES

[1] The Engineering Committee Division II, Small Products Industrial Fasteners Institute, 1984, "Cold

- formed parts yield impressive cost benefits”, Manufacturing Eng., pp.43~48.
- [2] Thoma j. Drozda, 1983, “Money saving innovation in automatic forming”, Manufacturing Eng.,pp.32~39
- [3] Nada Shojiro, 1984, “Accurately forged parts by modern super-multistate parts former”, Metal working Eng. Marketing,6, pp. 98~100.
- [4] S.K Biswas and W.A. Knight, 1974, “Computer-Aided Design of Axisymmetric Hot Forging Dies”, Proc. 15<sup>th</sup> Int.MTDR Conf., pp.135
- [5] N. Akgerman, T. Altan, 1972, “Recent Developments in Computer-Aided Design of Forging Process”, SME Technical Paper, pp.72~110
- [6] G. b Yu and T.A. Dean, 1985, “A practical Computer-Aided approach to mould design for axisymmetric forging dei cavities”, Int. J.March.Tool Des. Res., Vol.25, pp.1.
- [7] S. S.Lim, S.J.Lim, H.J.Choi, J.D.Jo, 2006, “Cold extrusion of tubes using Taguchi method Optimization of mold”, Trans. Mater. Process, pp.153~158
- [8] Metal. Forming Research Corporation, 2016, AFDEX V16 Manual
- [9] S.Kobyashi, S.I. Oh and T. Altan, 1989, “Metal Forming and the Finite-Element Method”, Oxford Uni. Press, pp. 39~41
- [10] M. S. Joun, M. C. Lee. Intelligent Forging Simulation Techniques and AFDEX , Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf , 2008 pp. 225~229,
- [11] M. S. Joun, M. C. Lee. C.H. Ryu and H.S. Cho,2000, A Structural Analysis System for Forging Die Sets Design, AFDEX/DIE, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf, Vol.9. No.2, pp.165~170