

# 박용 쓰러스트 샤프트의 플랜지 부위 자유 단조 틀 설계

권일근<sup>1\*</sup>, 김인호<sup>1</sup>, 송민철<sup>1</sup>, 박연구<sup>2</sup>, 박효준<sup>2</sup>

## Design of Free-Forging Tools for Flange part of Marine Engine Thrust Shaft

I. K. Kwon, I. H. Kim, M. C. Song, Y. G. Park, H. J. Park

### Abstract

The purpose of this study is to design the free forging tool for the high accuracy of the thrust shaft in marine engine. In order to do it, the principal factor controlling the uprightness of the flange part and the excessive margin and folding in middle part of thrust shaft after forging process was identified using FEA. Based on the results, the optimum shape of free forging tool and working method were proposed and verified through the mock-up and the actual product test.

**Key Words** : thrust shaft, free forging, flange part, tool design, forging test

### 1. 서론

선박 엔진용 대형 축계 부품은 주로 자유 단조로 제작된다. 이들 부품 중에서, 샤프트 플랜지, 쓰러스트 샤프트 및 인터 샤프트 부품과 같이 플랜지 부위를 가진 부품의 경우 자유 단조시 형상의 제어가 용이하지 않기 때문에 단조품의 형상 불량을 피하기 위해 많은 가공 여유를 두어 성형할 수 밖에 없다. 그러나, 이러한 자유 단조 작업에 있어서도 올바른 단조 작업 방안이나 적절한 형상의 단조 작업용 틀을 사용함으로써 기존에 발생하는 단조품 형상 불량 발생 가능성을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 높은 정도의 자유 단조품을 얻을 수 있다[1~2]. 특히 쓰러스트 샤프트의 경우 플랜지의 단차부를 성형하는데 있어서 적절한 형상의 단조 틀과 단조 방안을 선택함으로써 소재 형상 제어를 개선할 수 있는 여지가 충분하다.

본 연구에서는 쓰러스트 샤프트의 자유 단조에 있어서 단조품 형상 불량의 원인을 분석하고 이를 개선할 수 있는 단조 방안을 제시하고자 한다.

또한, 단조품 형상 불량에 직접적으로 영향을 미치는 단조 틀의 형상을 적정화함으로써 쓰러스트 자유 단조품 형상 불량 발생 가능성을 최소화하고자 한다.

### 2. 쓰러스트 샤프트의 자유단조 작업 분석

#### 2.1 쓰러스트 샤프트의 자유단조 작업

선박 엔진용 쓰러스트 샤프트는 Fig. 1과 같이 원통형의 샤프트에 두 개의 플랜지가 부착되어 있는 모양을 가진다. 플랜지부는 직경이 크기에 따라 큰 플랜지, 작은 플랜지로 구분하며 플랜지 사이의 부위를 샤프트 중앙부라고 부른다.

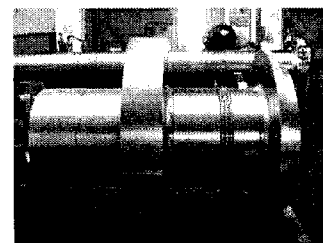


Fig. 1 선박 엔진용 쓰러스트 샤프트

1. 현대중공업 산업기술연구소  
2. 현대중공업 엔진기계사업본부  
\* 교신저자, E-mail: ilkeun@hhi.co.kr

쓰러스트 샤프트 자유 단조 과정은 Fig. 2의 (a)와 같이 라운드 바 상태의 소재 측면에 플랜지가 형성될 지점에 찌르기 단조를 실시한 후 평엔빌을 이용하여 은선(hidden line)으로 표시된 부위까지 다지기 단조를 실시하여 큰 플랜지를 성형한다. 그 다음으로 Fig. 2의 (b)와 같이 작은 플랜지가 될 지점의 양쪽에 찌르기 단조를 실시한 후 샤프트 중앙부와 나머지 샤프트 부위에 다지기 단조를 실시하여 최종 자유 단조품을 얻게 된다.

쓰러스트 샤프트 제품의 자유 단조 공정 후 발생하는 형상 불량은 Fig. 3과 같이 플랜지 부의 직각도 불량과 플랜지 측면 및 샤프트 부의 덧살이 주를 이루고 있다. 즉, 쓰러스트 샤프트 자유 단조품의 형상 불량은 앞에서 기술한 자유 단조 과정 중에 플랜지의 단차 부위 형성을 시작하기 위하여 실시하는 찌르기 단조와 다지기 단조 과정 중에 발생한다.

이에 본 연구에서는 쓰러스트 샤프트의 자유 단조 공정에서 형상 불량 발생 원인을 규명하기 위하여 먼저 단순 모델과 유한 요소 해석을 이용하여 성형 공정 중 플랜지 부의 형상 변화를 평가하였다.

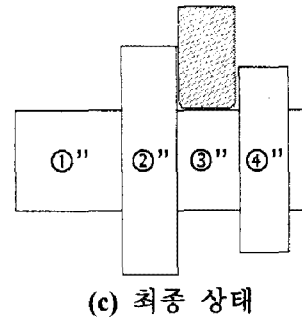
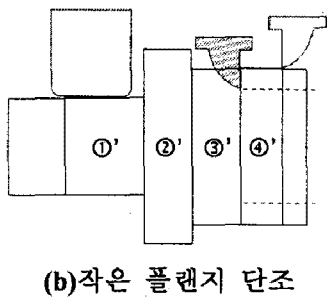
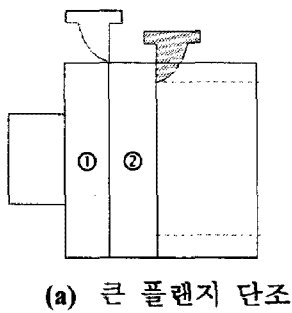


Fig. 2 쓰러스트 샤프트 자유 단조 과정

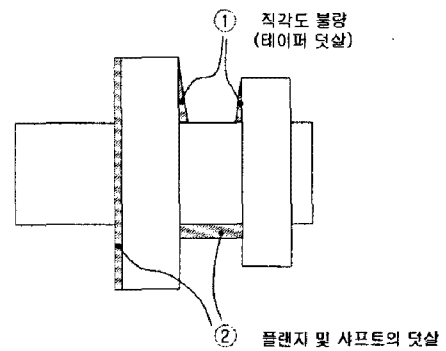


Fig. 3 쓰러스트 샤프트 자유 단조품의 형상 불량

## 2.2 플랜지 직각도 불량 원인

쓰러스트 샤프트 자유 단조품의 형상 불량 중 플랜지의 직각도 불량의 원인 분석을 위하여 Fig. 4와 같이 플랜지 성형시 찌르기 단조 작업을 생략하고 평 엔빌만으로 직경을 감소시키는 공정에 대하여 성형해석을 수행하였다. 해석 결과에서 샤프트 중앙부와 플랜지가 만나는 모서리 부위에 경사가 발생하는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상이 반복 작업에 의해서 누적이 되면 플랜지 측면은 직각이 아닌 경사를 가진 형상을 가지게 된다. 따라서, 플랜지의 직각도 불량을 방지하기 위해서는 플랜지 단조 시에 목표로 하는 직경 감소 깊이까지 충분히 찌르기 단조 작업을 수행한 후에 고르기 작업을 실시해야 함을 알 수 있다.

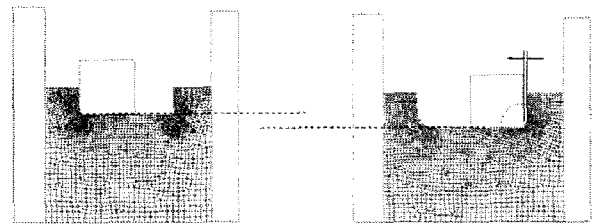


Fig. 4 평엔빌 사용시 측면 경사 형성

### 2.3 샤프트 중앙부의 단조 방법 개선

샤프트 플랜지의 중앙부는 Fig. 5의 (a)와 같이 작은 플랜지의 오른쪽 면에 찌르기 단조 툴의 수직면이 닿도록 하여 찌르기 단조 작업을 수행한 후 평앤빌을 이용하여 다지기를 실시함으로써 제작된다. 이 방법은 오른쪽에만 찌르기 단조 작업을 실시한 후 고르기 작업을 실시하므로 샤프트 중앙부의 왼쪽 부위의 직각도가 저하되는 결과를 초래한다.

따라서, Fig. 6에 나타낸 것과 같이 샤프트 중앙부의 왼쪽 부위에도 찌르기 단조 작업을 실시하면 샤프트 중앙부 단조시 플랜지의 직각도가 저하되는 것을 방지할 수 있을 것이다. 그러나, 샤프트 중앙부의 양쪽에 찌르기 단조를 실시할 경우 샤프트 중앙부가 형성될 부위의 폭이 310mm로써 협소한 편이므로 적절한 툴 형상의 선정과 플랜지의 단조 과정을 두 단계 이상으로 분할하는 방안이 요구된다.

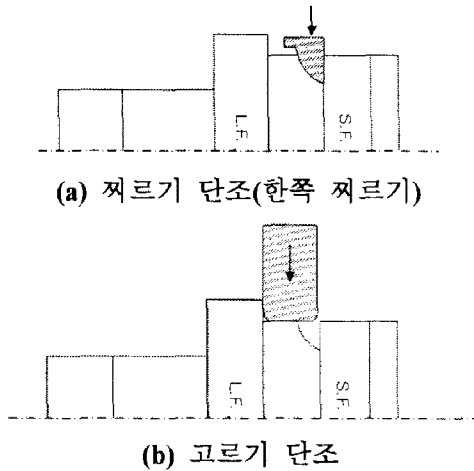


Fig. 5 기존의 샤프트 중앙부 부위 가공 방법

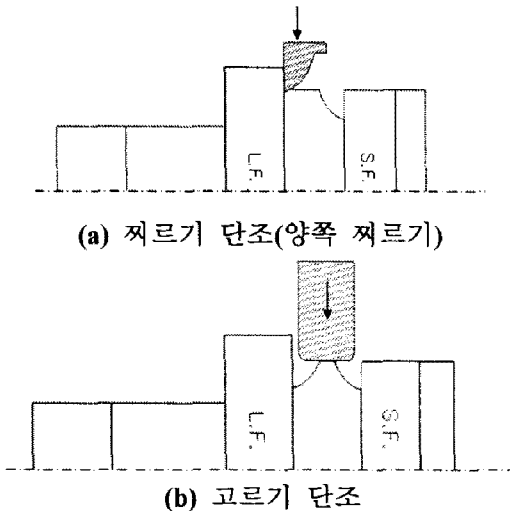


Fig. 6 제안된 샤프트 중앙부 단조 방법

### 3. 찌르기 단조 툴 형상의 설계

#### 3.1 찌르기 단조 툴의 예리함 선정

찌르기 단조 툴의 형상은 Fig. 7과 같이 1/4원상에서 그 일부분을 취하여 표현할 수 있다. 찌르기 단조 툴의 예리함을 나타내는  $a$  값의 영향을 파악하기 위하여 찌르기 단조 툴을 20mm 압입하는 작업에 대하여 유한요소해석을 수행하였다. Fig. 8의 해석결과와 같이  $a$ 가 1R, 0.7R, 0.5R인 경우 찌르기 단조 툴은 횡방향의 미끄러짐량( $s$ )은 각각, 21mm, 2mm, 1mm로  $a$ 가 작을수록, 즉, 툴의 형상이 예리할수록 툴의 미끄러짐은 작게 발생함을 알 수 있다. 단조 작업 중에 찌르기 단조 툴이 초기에 셋팅된 위치로부터 이동하면 단조품 형상 불량 발생 가능성이 높아지므로 찌르기 단조 툴의 형상을 가능한 예리하게 하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 그러나,  $a$ 의 값이 너무 작으면 툴의 끝부분에 강도의 저하가 발생하고 흠의 형상이 너무 협소해서 고르기 작업시 접힘(folding)이 발생할 수 있으므로 적절한 값을 선정해야 한다. 이에 본 연구에서는 추가적인 해석을 수행하여 찌르기 단조 툴의 예리함을 나타내는  $a$ 의 값을 0.7R로 선정하였다.

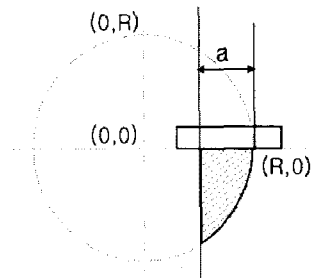


Fig. 7 찌르기 단조 툴의 예리함 인자(a)

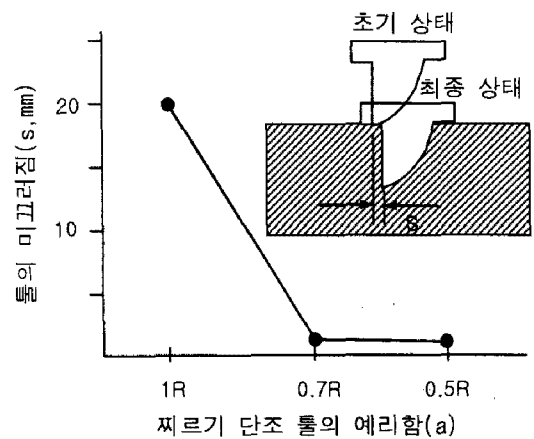


Fig. 8 찌르기 단조 툴의 횡방향 미끄러짐

### 3.2 찌르기 단조시 홈의 각도 선정

Fig. 9의 유한요소 해석 결과는 한쪽 찌르기 단조 후 고르기 단조 작업을 실시할 경우에 대하여 찌르기 단조 각도에 따른 접힘의 발생 유무를 나타낸다. Fig. 9와 같이 한쪽 찌르기 단조 작업시 찌르기 단조 툴의 경사각( $\alpha$ )은  $35^\circ$  이상일 때 접힘이 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 한편, 양쪽 찌르기 단조 작업에 있어서 두 번째 찌르기 단조 작업시 툴의 압입에 의해서 소재가 그 반대쪽으로 유동하여 첫 번째 찌르기 단조를 한 홈의 각도가 약  $5^\circ$  정도 감소하므로 홈의 각도를  $40^\circ$  로 선정하였다.

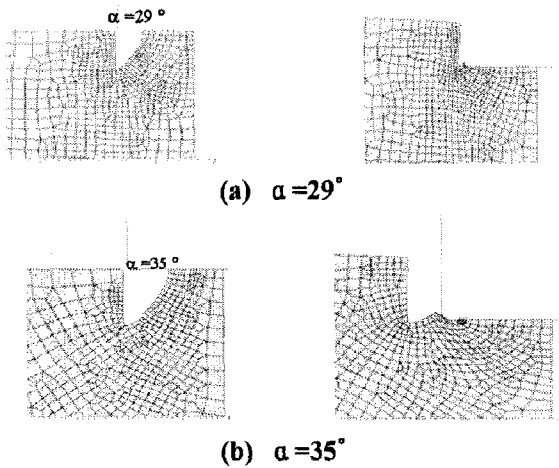


Fig. 9 찌르기 단조 각도에 따른 접힘 발생 유무

### 3.3 찌르기 단조의 단계 분할

찌르기 단조의 앞입 깊이가 너무 깊으면 홈의 산부위가 한쪽으로 쏠려서 고르기 단조 작업시 접힘이 발생할 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해서는 찌르기 단조 깊이를 둘 이상의 단계로 나누어서 단조 작업을 실시해야 한다.

Fig. 10은 실제 쓰러스트 샤프트 부품의 샤프트 중앙부 부위 단조 작업을 두 단계로 나눈 단조 작업 방안을 나타낸다. 최초의 라운드바 상태에서 샤프트 중앙부 부위의 폭은 체적 배분에 의해서 310mm 이며 접힘이 발생하지 않는 찌르기 단조 툴의 각도가  $40^\circ$  인 것을 고려하여 첫 번째 단계의 압입깊이를 150mm 로 결정하였다. 두 번째 단계에서도 첫 번째 단계와 동일한 방법으로 압입 깊이를 200mm 로 결정하였으며 각 단조 단계의 찌르기 단조 툴의 형상은 Fig. 10의 단조 방안으로부터 Fig. 11과 같이 선정하였다.

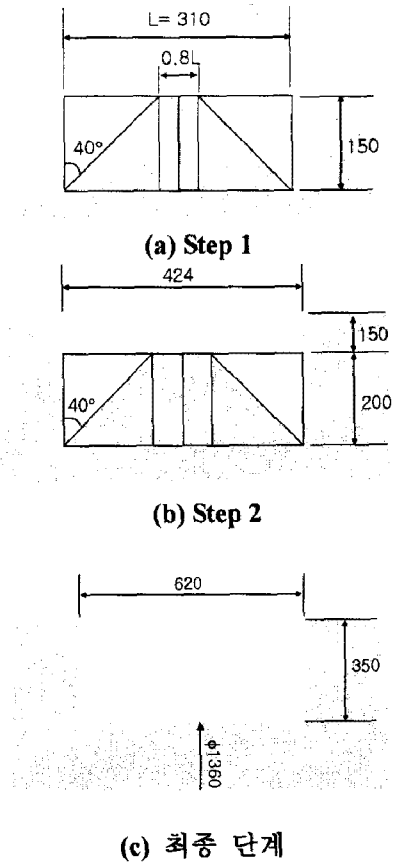


Fig. 10 샤프트 중앙부의 단조 스텝

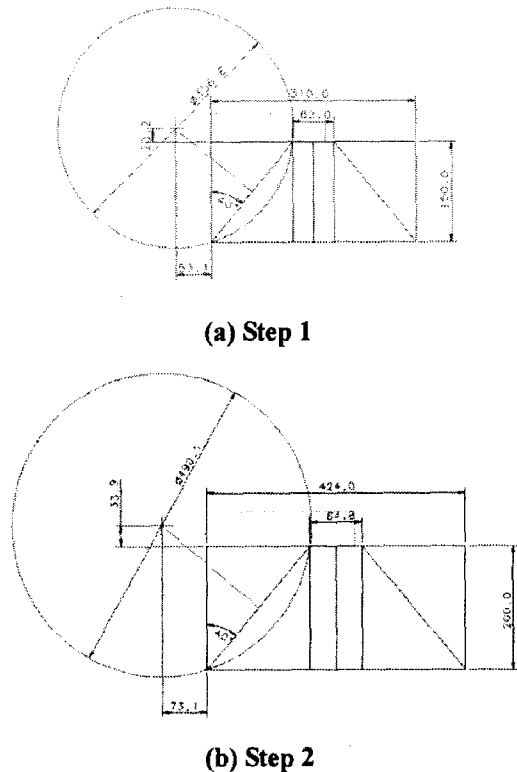


Fig. 11 샤프트 중앙부의 찌르기 단조 툴 형상

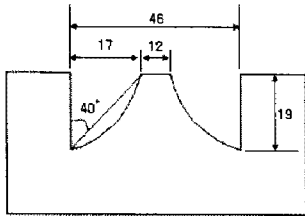
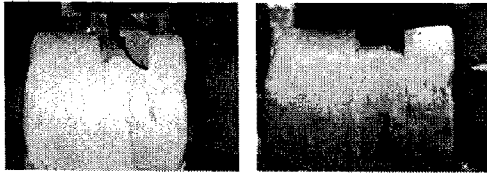


Fig. 12 플라스틱신 모사시험

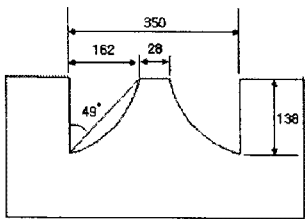
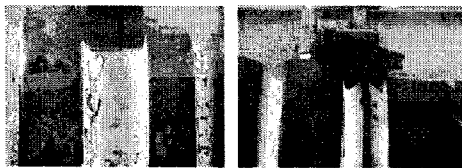


Fig. 13 시험단조

### 3. 모사시험 및 시험단조

앞에서 설계한 찌르기 단조 틀 형상의 타당성을 검증하기 위하여 플라스틱신을 이용한 모사시험과 시험단조를 수행하였다. 플라스틱신 모사시험에 사용한 찌르기 단조 및 고르기 단조 틀은 목재를 이용하여 1/20 크기로 제작하였다. 양쪽 찌르기 단조 작업에 대하여 찌르기 단조 및

고르기 작업을 순차적으로 수행한 결과 Fig. 12와 같이 접힘의 발생 없이 최종 형상을 얻을 수 있었다. 그리고 실제 쓰러스트 샤프트 부품에 대하여 샤프트 중앙부 부위에 양쪽 찌르기 단조 작업을 적용하여 시험단조를 실시하였다. Fig. 13의 시험 단조 결과와 같이 설계 형상과 다소 차이가 나는 단조 틀을 사용하였지만 고르기 작업시 접힘이 발생하지 않으며 플랜지 측면의 직각도가 기존의 제품에 비해 개선된 것을 확인할 수 있었다.

### 4. 결 론

쓰러스트 샤프트의 플랜지 부위 단조 틀 설계 및 자유 단조 방법에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 샤프트 중앙부에 양쪽 찌르기 단조 작업을 적용하기 위하여 횡방향 미끄러짐을 최소화할 수 있는 단조 틀 형상과 접힘이 발생하지 않는 단조 스텝을 설계하였다.

(2) 설계된 찌르기 단조 틀과 단조 스텝의 타당성을 검증하기 위하여 플라스틱신 모사시험 및 시험단조를 실시하였으며 형상 결함의 발생이 없이 목표로 하는 형상의 단조품을 얻을 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] L. Jilek, B. Dvorak, B. Molinek, 1994, Big Crank Shafts Forging, 12th IFM Conference, Chicago, Illinois
- [2] Kopp, Beckmann, Duerr, 1999, Robot-aided Open-die Forging of Near Net-Shaped Parts, Production engineering, research and development in Germany, v.6 no.2, pp.47-50