

# 선박용 크랭크스로우의 자유 단조 예비성형체 형상

김동영\* ·김영득 ·김동권 ·김재철

## A Study on the Open Die Forging Preform Shape of Crank Throw for Large Ship Engines

D.Y. Kim, Y.D. Kim, D.K. Kim and J.C. Kim

### Abstract

A crank throw, which is one of the part of crankshaft for a large diesel engine, is manufactured by both closed die forging and open die forging. For the improvement of productivity the open die forging method is usually adopted to manufacture it these days. In case of the open die forging for the crank throw, a preform shape is very important because it seriously affects final dimensions of the product. The purpose of this study is to investigate affective factors of the preform to obtain a good shape of final product through simulation and the results are compared to downsized lead experiments.

**Key Words** : Crank throw, Crankshaft, Open Die Forging, Preform

### 1. 서론

선박용 엔진의 크랭크샤프트는 중소형엔진의 경우 일체형으로 제작이 가능하나 대형엔진의 경우는 치수 및 중량과 설비 조건 등으로 인해 크랭크샤프트를 구성하는 저널, 웹, 핀, 플랜지 등을 각기 따로 제작하여 열박음을 실시한다. 크랭크스로우는 Fig.1과 같이 크랭크샤프트의 웹부와 핀부가 일체형으로 된 것을 일컫는데, 기계적 성질의 향상을 위하여 단조공법으로 주로 제작되고 있다. 형단조로 크랭크스로우를 제작할 경우 기계 가공량이 적은 장점은 있으나 단조방법이 복잡하고 제품 취출이 용이하지 못한 단점이 있으므로 형단조에 비하여 생산성이 우수한 자유단조 방식이 제작에 주로 이용되고 있다.

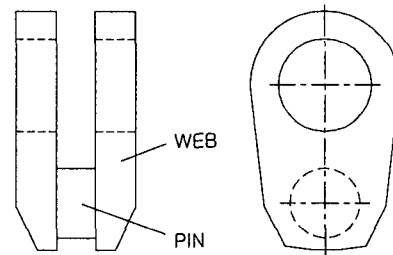


Fig.1 Schematic drawing of crank throw

크랭크스로우의 자유단조방법은 Fig.2와 같이 강괴를 업세팅과 코킹을 거쳐 예비성형체를 만들고, 이 예비성형체를 굽힘 성형시킨 다음 평금형으로 마무리 작업을

\* 부산중공업 기술연구원

수행한다. 자유단조로 크랭크스로우를 제작할 경우 예비성형체에 따라 최종 단조제품의 치수 및 형상에 큰 영향을 미치므로 적절한 예비성형체 형상을 선정하는 것이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

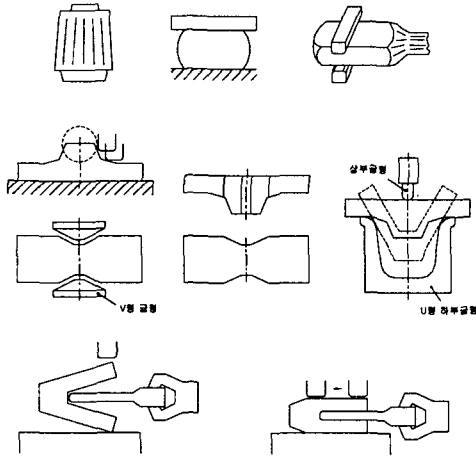


Fig.2 Open die forging process of crank throw

본 연구에서는 크랭크스로우의 자유단조시 예비성형체의 변형거동을 시뮬레이션을 통하여 살펴봄으로써 최종 단조제품에 영향을 주는 예비성형체 형상 인자를 조사하고 그 결과를 축소모델 실험을 통하여 비교하였다.

## 2. 유한요소해석을 이용한 기본 변형 거동

크랭크스로우의 굽힘 변형 해석에서는 예비성형체의 굽힘시 핀부의 전후 및 양 옆으로 3차원 변형이 발생하므로 2차원 해석으로는 정확한 변형의 예측이 곤란하여 3차원 해석이 절실히 요구된다.

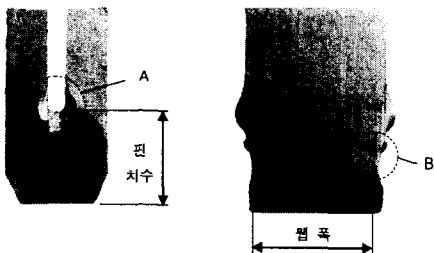


Fig.3 Forged shape of crank throw by FE analysis

Fig.3은 크랭크스로우의 시뮬레이션을 통한 자유단조 후의 형상을 정면과 측면에서 보여주고 있는데, 본 연구

에서의 유한요소해석은 소성가공 전용 S/W인 DEFORM-3D를 이용하였다.

시뮬레이션을 통하여 나타난 소재의 변형 과정에서 관심을 갖고 살펴 볼 부분이 있는데 첫째로 정면에서 볼 때 Fig.3의 "A" 부와 같이 핀부 전후에서 소재 함몰이 발생하며 이로 인해 최종 단조제품의 치수 부족 현상이 야기될 수 있다. 이러한 소재 함몰 현상은 상부 금형 아래편의 중앙부 양 옆 소재들이 굽힘이 진행되는 과정에서 소재가 상부금형의 전후로 늘어남과 동시에 블록하게 벌어지기 때문에 발생된다. 둘째로 굽힘 시 소재가 하부 U형 금형에 접촉되면서 소재가 인장을 받아 Fig.3의 "B"와 같이 크랭크스로우의 폭이 줄어들게 되어 제품 형상에 따라 치수 부족 현상이 야기될 수도 있다. 따라서, 이러한 치수 부족이 예상되는 부분을 적절히 고려한 최적 예비성형체의 선정이 매우 중요하다고 할 수 있다.

## 3. 크랭크스로우 예비성형체 형상 선정

크랭크스로우의 예비성형체의 형상은 웹부의 폭과 두께, 핀부의 직경 확보를 기준으로 하여 가공 여유를 적절히 주어 설계한다.

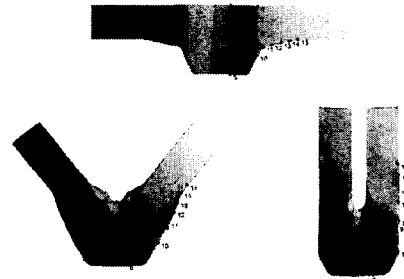


Fig. 4 Variation of preform during forging process

Fig.4는 크랭크스로우의 예비성형체의 주요 형상 부위가 자유 단조시 어떻게 유동하는지 나타내고 있는데, 웹부와 핀부의 경계 지점인 6번 위치 근방에서 함몰 현상이 나타나며 10번~14번에서는 다른 부위에 비해 인장이 크게 발생하여 웹부의 폭에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 이러한 소재 함몰 현상을 보상하기 위해서는 함몰부 위치와 수평선상에 위치하는 소재(12번 근처) 두께를 두껍게 하여 평금형 작업시 소재 부족분을 보충해 주거나, 예비성형체를 굽힐 때 핀 상부의 소재가 올라오는 현상을 없애기 위하여 이 부분의 예비성형체 형상을 다르게 변경할 수도 있다.

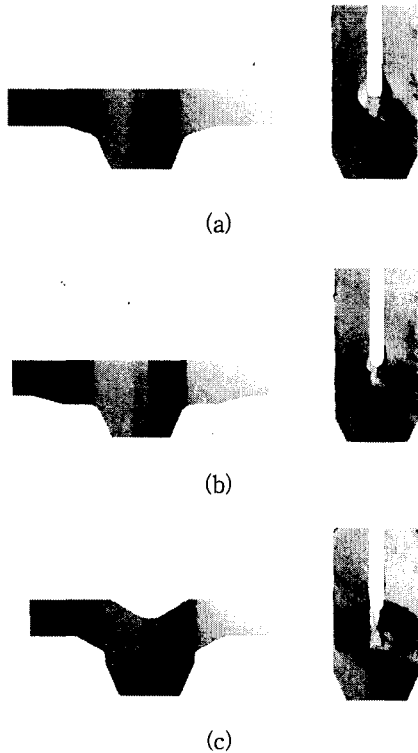


Fig.5 FE analyses for conventional preform and newly designed ones

Fig.5는 상기 현상을 토대로 함몰 부위를 보정하기 위한 예비성형체 형상과 단조해석 결과를 기존의 단조 형상과 비교하여 나타내고 있다. (a)는 기존의 단조 형상이며, (b)는 치수 함몰 부위의 소재 부족 부분을 평균형 작업시 보상하기 위한 형상이고, (c)는 굽힘 변형시 편상부의 과 체적을 해소하기 위하여 고안된 예비성형체 형상을 나타내고 있는데, 기존의 형상에 비하여 함몰 부위의 형상이 개선되는 것으로 조사되었으며, 특히 예비성형체 (c)의 경우는 과체적부의 소재 접힘을 미리 제거하여 소재 유동을 조절함으로써 소재 함몰이 뚜렷이 줄어들어 효과를 얻을 수 있다.

웹부의 인장으로 인한 측면부 치수 부족 현상을 보상하기 위해서는 상기 Fig.6에서 보듯이 예비성형체 제작시 측면부를 성형하는 V형 금형의 각도를 변경하는 방안을 검토할 수 있는데, 이 경우 함몰 위치와 크기도 영향을 받으므로 세심한 주의를 기울여야 한다.

Table 1은 측면 V형 금형의 각도 변경에 따른 주요 치수의 변화에 대하여 단조치수와 가공치수의 비율을 나타내고 있는데, 각도가 클수록 웹부의 폭과 편부의 치수

는 충분히 확보가 되는 반면에 함몰 크기는 더 커지는 것으로 조사되었다. 따라서 크랭크스로우의 편 및 웹부 가공 치수와 형상에 맞추어 적절한 측면 V형 금형의 선정이 필요하다.

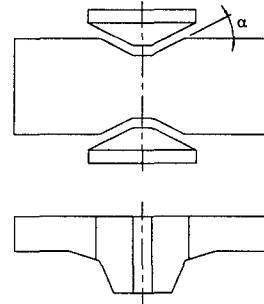


Fig.6 Angle of V shaped die for manufacturing crank throw preform

Table 1. Dimensional Variations of major forging factor according to angle of V-shaped die

구분	30°	60°	90°
편부 크기	1.14	1.18	1.22
함몰 크기	1.53	1.76	1.88
웹부 최소폭	0.93	0.98	0.99

#### 4. 축소모델 실험

축소 모델 실험은 실제 크기의 1/6로 축소된 금형과 납 시편을 이용하여 수행하였다. 미리 준비된 금형과 예비성형체를 실험용 100ton 프레스에 설치하여 굽힘성형에서부터 평균형을 사용한 다듬기 작업까지 현장에서 수행하는 작업 과정을 모사하였다.

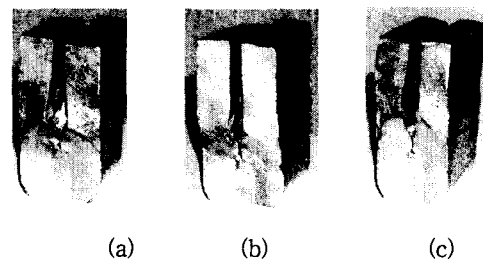


Fig.7 Experimental results of crank throw forging

Fig.7은 Fig.5의 예비성형체를 축소모델 실험한 사진을 나타내고 있는데, FE 해석 결과와 마찬가지로 기본 형

상인 (a)에 비하여 개선된 (b), (c)의 예비성형체 형상으로 단조한 경우가 소재 함몰 현상이 줄어들어 효과를 얻을 수 있는 것으로 조사되었다.

## 5. 결 론

유한요소해석을 이용하여 크랭크스로우 자유단조 공정의 예비성형체 변형거동을 조사하고 실험으로 그 결과를 검증하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 크랭크스로우의 자유단조 공정해석시 3차원 유한 해석의 타당성을 실험을 통하여 확인하였다.
- (2) 유한요소해석을 통하여 크랭크스로우 단조용 예비성형체의 변형 거동을 조사하여 치수 불만족을 해결할 수 있는 예비성형체를 설계하였다.

(3) 크랭크스로우의 최적 단조 예비성형체를 설계하기 위해서는 핀 상부와 웹 측면부 및 함몰부의 상관 관계를 고려하여 현장 상황에 적절한 측면부 성형 V 각도를 선정하여야 한다.

## 참 고 문 헌

- (1) Jilek, L., 1994, "Big Crankshafts Forging", 12th International Forgemasters Meeting, Chicago,IL.
- (2) Forch, K., 1994, "Forging of Heavy Continuous Grain Flow(CGF) Crankshafts Without Intermediate Cooling", 12th International Forgemasters Meeting, Chicago,IL.
- (3) 박승희, 윤성만, 신상엽, 1999, "선박 중형엔진 일체형 Crankshaft 제작용 형단조장치 기술개발에 관한 연구", 한국소성가공학회 춘계학술대회논문집, pp.107~110