

선박 중형엔진 일체형 Crankshaft 제작용 형단조장치 기술개발에 관한 연구

박 승희*, 윤 성만*, 신 상엽*

A Study of Forging Equipment for One Body Crankshaft of Medium Sized Marine Engine

S. H. Park, S. M. Yoon, S. Y. Synn

Abstract

The purpose of this research is for the development of a new type forging equipment, H.C.G.(Hyundai Continuous Grain-Flow), by using two virtual build-up tools, rigid viscoplastic FEM and downsized plasticine experiment. This forging equipment consists of consecutive horizontal and vertical pressure while the traditional forging method consists of only vertical pressure. Using this method, high quality crankshafts can be forged as it can maintain a continuous grain flow. The factors considered in the development of equipment are die geometry for flawless deformed shape, die reaction forces, stress/strain distributions and continuous material flow. We carried out several numerical simulations and downsized plasticine experiments for the proper design of the forging equipment. The validity of those simulation results is confirmed by checking with the actual test results. Based on these simulation results, the proper design of the H.C.G. forging equipment is enabled.

Key Words: Crankshaft, Offsetting, Upsetting, Stress, Finite Element Method, Continuous Grain Flow, Plasticine

1. 서론

선박 및 발전기용 디젤엔진의 크랭크샤프트(Crankshaft)는 실린더의 가스 폭발력과 관성력을 반복적으로 받으며 고속회전을 하기 때문에 높은 응력과 진동을 받는 중요한 핵심부품이다. 크랭크샤프트는 저어널(Journal), 웹(Web), 핀(Pin), 플랜지(Flange)의 4개 부분으로 구성되어 있으며, 일부 주조공법으로 제작되는 것을 제외하고는 단조공법으로 제작되는 것이 대다수이므로, 최근에는 크랭크샤프트의 물리적 및 기계적

성질을 향상시키기 위한 단조공법의 개발이 활발히 진행되고 있다. 그중에서도 크랭크샤프트의 제작에 이용되고 있는 대표적인 단조공법에는 자유단조(Open die forging)공법과, 기존에 존재하는 프레스(Press)에 특수장치를 장착하여 연속입자흐름(C.G.F. : Continuous Grain Flow)을 갖도록 하여 크랭크샤프트의 특성을 향상시킨 RR이나 T.Rut 단조공법등의 형단조(Close die forging)공법이 있다^[1-5]. 그중에서도 선박 중형엔진용 일체형 크랭크샤프트의 경우는 단조장치 및 전용장비의 부재로 인하여 국내에서는 생산되지 못한 제품이다^[6].

본 연구에서는 선박 중형엔진용 일체형 크랭크

* 현대중공업(주) 기술개발본부 마복리연구소

샤프트를 생산하기 위해서 초기 투자비를 최소화 하면서도 프레스에서의 탈착이 용이하고, 소재를 한번 가열하여 연속적으로 단조할 수 있는 H.C.G. (Hyundai Continuous Grain-Flow) 단조장치 개발을 목적으로 수행된 내용들에 대하여 소개하고자 한다.

2. 본론

2.1 H.C.G. 단조장치의 원리

H.C.G. 단조장치의 원리는 Fig. 1과 같은 전체적인 단조장치의 모습으로 설명될 수 있다. H.C.G. 단조장치는 두가지의 연속공정으로 크랭크 스톱(Crank throw)를 횡단조하게 구성 되어 있다.

첫번째 단조공정은 수평 단조공정으로 가열된 소재를 H.C.G. 단조장치의 측면 고정부에 고정시킨 후 프레스의 수직힘을 이용하여 상부 금형을 수직방향으로 이동시킴으로써 옆면이 기울어져 있는 측면 금형이 수평방향으로 이동됨에 따라 소재를 업셋팅(Upsetting)함으로써 원형의 소재를 타원형의 형태로 단조하게 된다.

연속적인 두번째 단조공정은 크랭크 스톱의 형상을 횡단조하는 것으로 위의 수평단조가 이루어진 상태에서 연속적으로 편 형성용 금형을 상부 금형에 부착하여 프레스의 수직방향으로의 힘을 이용 오프셋팅(Offsetting)함으로써 크랭크 스톱을 횡단조하는 과정으로 되어 있다. 이러한 단조공정을 반복 수행하여 여러개의 크랭크 스톱으로 형성된 일체형 크랭크샤프트를 제작할 수 있게 된다.

2.2 모사 실험

여러개의 크랭크 스톱으로 구성된 선박 중형엔진용 일체형 크랭크샤프트 단조품을 제작하기 위한 단조작업은 전체 단조공정에서 가장 중요한 작업이다. 이에 대한 타당성을 분석하기 위해서 상온에서 고온의 강과 유사한 물리적 성질을 갖는 플라스틱신(Plasticine)을 이용하여 소재를 축소하여 제작하고, 축소 제작한 목형을 이용하여 단조작업 수행하였다^[6]. Fig. 2는 축소된 목형들의 전체적인 모습을 나타낸 것이고, Fig. 3은 단조후의 크랭크샤프트 모습을 나타낸 것이다.



Fig. 1 H.C.G. forging equipment

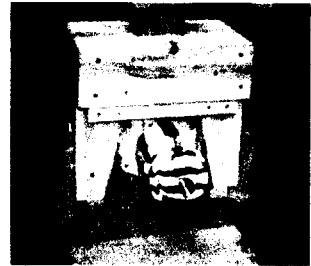


Fig. 2 Operation of plasticine mock-up equipment

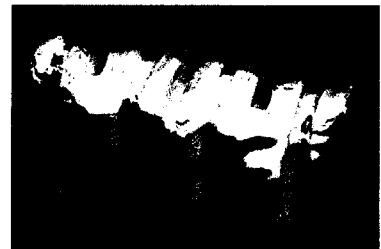


Fig. 3 The final forge pattern

2.3 유한요소해석 기법을 이용한 이론해석

유한요소해석 기법을 이용한 이론해석은 소성 가공 전용 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 DEFORM S/W를 이용하여 H.C.G. 단조장치의 단조용 금형의 적합성 및 단조시 소재의 변화들에 대한 여러 가지 이론적인 해석을 수행하였다.

Fig. 4는 3차원 이론해석을 위해서 구성한 전체의 1/4 초기 모델 형태를 나타낸 것이다^[7].

Fig. 5와 Fig. 6은 오프셋팅(Offsetting) 단조공정에 따른 소재의 최대 주응력, 변형률 분포의 변화 양상을 여러각도에서 분석한 결과를 나타낸

것으로, 크랭크스로우의 핀 성형용 금형에 의해 변형될때의 전체적인 경향을 파악할 수 있었고, 모사실험의 결과와도 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

따라서, H.C.G. 단조공정에서 가장 중요한 크랭크 스로우를 단조하는 공정을 이론적으로 검증함으로써 단조공정에 대한 타당성을 분석할 수 있었다.

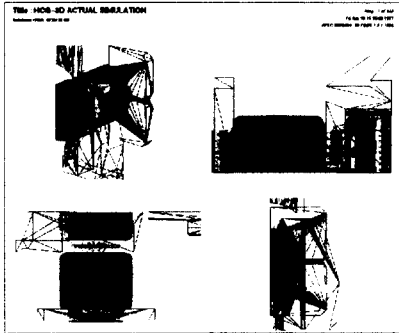


Fig. 4 Quater section model

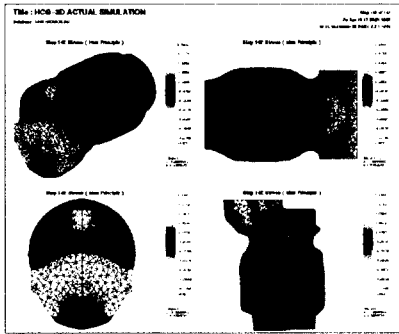


Fig. 5 Predicted maximum principal stress distributions

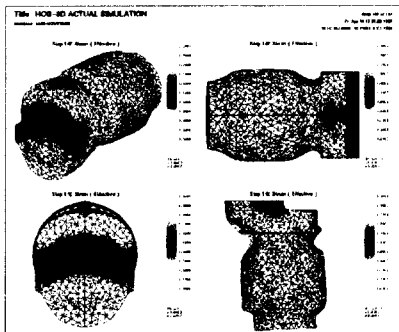


Fig. 6 Predicted strain distribution

2.4 실제품 시험단조

실제품 시험단조에 대한 공정은 Fig. 7 ~ Fig. 10에 연속적으로 나타내었다. Fig. 7은 H.C.G. 단조장치에 소재의 단조할 부위를 정확히 위치시키는 모습을 나타낸 것이다. Fig. 8은 H.C.G. 단조장치를 이용하여 소재를 단조하는 모습을 나타낸 것이다. Fig. 9와 Fig. 10은 크랭크 스로우를 단조완료후에 전체적인 크랭크샤프트의 모습과 가공후의 완제품을 나타낸 것이다. Fig. 11은 크랭크 스로우 단조후 기계가공치수와의 차이를 나타낸 것으로, 단조품과 완제품의 기계가공여유가 확인되었으며, 단조품에 대한 적합성을 확인할 수 있었다.

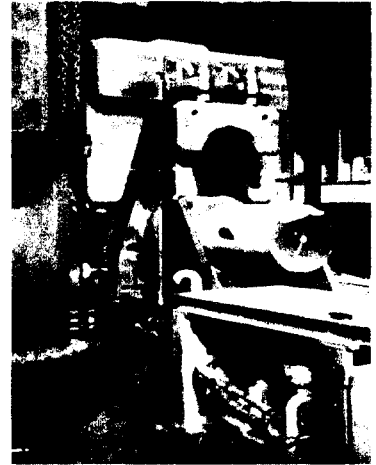


Fig. 7 Inserting round bar into H.C.G forging equipment



Fig. 8 Operation of H.C.G forging equipment

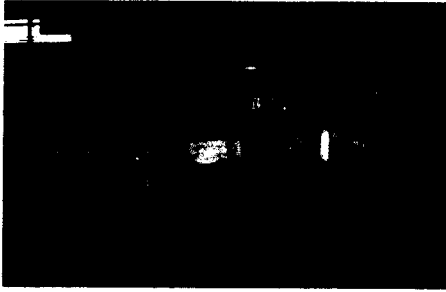


Fig. 9 The final forging result



Fig. 10 The final product of crankshaft

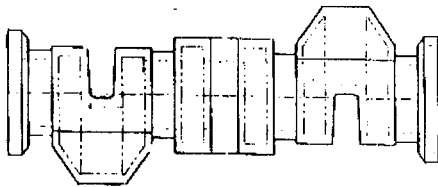


Fig. 11 Schematic drawing of crankshaft

3. 결 론

본 연구를 통하여 기존의 프레스에 특수 형 단조 장치를 장착하여 프레스의 수직방향 힘을 수평과 수직방향의 힘으로 변환시켜 연속적인 형 단조 작업을 수행할 수 있는 H.C.G. (Hyundai Contineous Grain-Flow) 장치를 독자적으로 개발하였으며, 이러한 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 플라스틱신(Plasticine)을 이용한 모사실험을 실시하여 단조공정중 소재의 형상변화를 관찰할 수 있었다. 이를 이용하여 금형의 형상을 수정하여 원하는 형상의 제품을 얻을 수 있었으며, 이러한 모사실험은 대형의 형단조 금형 설계시 유

용한 도구로 사용될 수 있음을 확인하였다.

2. 강소성 유한요소법을 이용하여 단조공정의 이론해석을 수행함으로써 형단조 공정중의 재료와 금형의 취약부분을 예측할 수 있었고, 이를 금형 설계에 반영하여 원하는 강도의 제품을 얻을 수 있었다.

3. H.C.G. (Hyundai Contineous Grain-Flow) 단조장치를 이용하여 경제적인 측면에서 가격 경쟁력이 있고, 생산적인 측면에서 원가절감에 기여할 수 있는 선박 중형엔진용 일체형의 크랭크샤프트 단조품 제작할 수 있었다.

후 기

본 논문에 게재된 “선박 중형엔진 크랭크샤프트 제작용 형단조장치”는 한국산업기술진흥협회와 매일경제신문사가 공동으로 주관하는 “IR-52 장영실상” 1999년 3월 11일 제 14주에 선정된 기술이다.

참 고 문 헌

1. T.Rut, Multi-connector Equipment for Forging Crankshafts and Upsetting Bar Stock by the TR-Method, Pergamon Press, Elmsford, N.Y., 1968.
2. T.Rut, Verfahren zum Schmieden von Kurbelwellen Ind. Anz., Nr 34., 1969.
3. T. Rut, New Forging Processes for Conventional Presses, Forge Fair '91, Cincinnati Convention Center, 1991.
4. A New Forging Method for Crankshafts, Bars, Machinery, Vol.76, No.6, 1970.
5. MAN-B&W Quality Specification ID No. A1602502-9.
6. R.L. Bondnar, D.C. Ronemus, B.L. Branfitt and D.C. Shah, “Physical Modeling of Hot-Deformation Processes Using Plasticine”, I&SM, pp35-46, Aug., 1986.
7. S.I. Oh, et. al., “Capabilities and Applications of FEM code DEFORM; the perspective of the developer”, J. Mat. Proc. Tech., 1991.