

대형 크랭크샤프트의 형단조에 관한 실험적 및 수치적 연구

조범재¹· 이민철²· 김홍태³· 박태현¹· 제갈영진¹· 최인수⁴· 전만수[#]

Experimental and Numerical Study on Closed Die Hot Forging of a Large Crankshaft

B. J. Cho, M. C. Lee, H. T. Kim, T. H. Park, Y. J. Jegal, I. S. Choi, M. S. Joun

Abstract

We apply a closed die forging technology to a large crankshaft of which forging weight amounts to 850kg. 40ton counter-blow hammer forging machine is used. The forging process is optimized to reduce the forming load using finite element simulation. AFDEX 3D is used for forging simulation. The experiment is compared with finite element prediction and a good agreement is observed. The successful development of a large crankshaft by the closed die forging technology will contribute to opening a new area of closed-die forging application and to enhancing competitiveness of national machinery industries especially including ship part and power generation industries.

Key Words : Large Crankshaft(대형 크랭크샤프트), Counter-blow Hammer(카운터블로헤머), Closed Die Forging (형단조), Forging Simulation(단조 시뮬레이션)

1. 서론

선박, 산업기계, 발전설비, 항공기 부품 등에 대형 단조품이 사용되고 있다. 대형 단조품은 주로 자유단조 공법으로 주문 제작되고 있다. 대형 단조품의 제작은 자유단조에 의존할 수밖에 없다. 대형 선박용 크랭크샤프트의 제작에 이용되는 RR 및 TR 단조도 자유단조의 변형된 공법이다[1,2]. 그리고 현대중공업에서 개발한 HCG 단조 공법[3]도 자유단조의 변형된 공법에 속한다. TR, RR, HCG 단조 공법은 형단조의 장점을 일부 활용하고 있으나 근본적으로 전통적인 형단조와는 상당한 차이가 있다.

동일한 제품을 자유단조와 전통적인 형단조로 생산했을 경우, 일반적으로 형단조가 여러가지 면에서 유리하다. 우선 품질 측면에서 유리하다. 형

단조는 자유단조에 비하여 소재가 고압 상태에서 변형되기 때문에 기공의 압착 측면과 소성유동선도의 치밀도 등에서 유리하다. 또한 생산성 측면에서도 형단조가 훨씬 유리하다. 문제는 형단조로 제작할 수 있는 제품의 크기가 한정되어 있다는 것이다. 그러므로 대형 단조품의 제작에는 헤머단조가 유리한 면이 있다.

우리나라의 중형엔진 시장이 조선산업과 발전산업에 힘입어 급성장하고 있으며, 대형 크랭크샤프트의 단조 수요를 충족하는데 애로를 겪고 있다. 이러한 애로를 극복하고 엔진의 소형화 요구에 부응하기 위하여 대형 단조품의 형단조 기술의 개발이 절실한 시점이다.

본 연구에서는 단조품 기준으로 850 kg의 중량을 지닌 발전기용 크랭크샤프트의 형단조품의 개발 사례를 제시한다.

1. 대창단조㈜
2. 경상대학교 기계공학과 박사후 과정
3. 한국항공우주산업㈜
4. 대명공업㈜
경상대학교 기계항공공학부/항공기부품기술연구소
E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

2. 개발 대상 제품과 공정 설계

Fig. 1 은 개발하고자 하는 단조품의 형상을 나타내고 있다. 이 단조품은 기계 가공된 후 발전기의 크랭크샤프트로 사용된다. 단조품의 중량은 약 850 kg 에 달하며, 초 대용량(40000 톤급 이상) 기계식 또는 유압식 프레스가 아니면 프레스 단조가 불가능하다. 본 연구에서는 대장단조(주)가 확보하고 있는 40 톤 카운터블로헤머로 Fig. 1 의 대형 단조품을 형단조 공법으로 개발하고자 한다.

공정설계를 최종적으로 확정하기에 앞서 유한

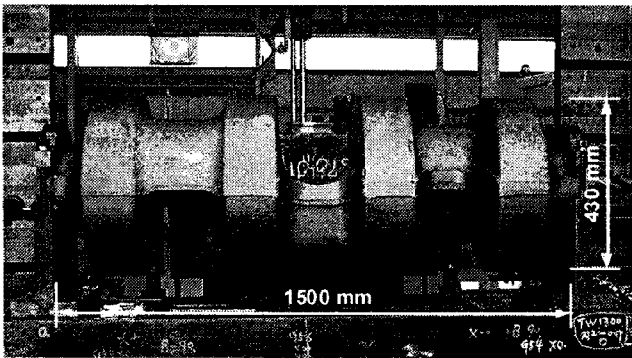


Fig. 1 A crankshaft forged by counter-blow hammer

요소해석을 실시하여 형단조 가능성을 검토함으로써 설계의 최적화를 실시하였다. 초기소재와 금형의 형상을 Fig. 2 에 나타내었다. 해석을 위하여 사용한 단조 시뮬레이터는 AFDEX 3D[4]이다.

사용된 재료는 SCr420 이며, 소재의 초기온도 1250 °C 전후의 유동응력은 $\sigma = 74.9\epsilon^{0.199}$ MPa 이다. 일정전단마찰모델이 사용되었으며, 마찰상수로 0.6 이 사용되었다. 속도는 500 mm/sec 로 일정하다고 가정하였다.

Fig. 3 에 공정해석 결과를 나타내었다.

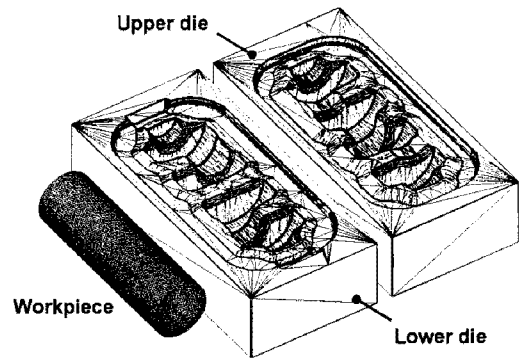


Fig. 2 Schematic description of the process

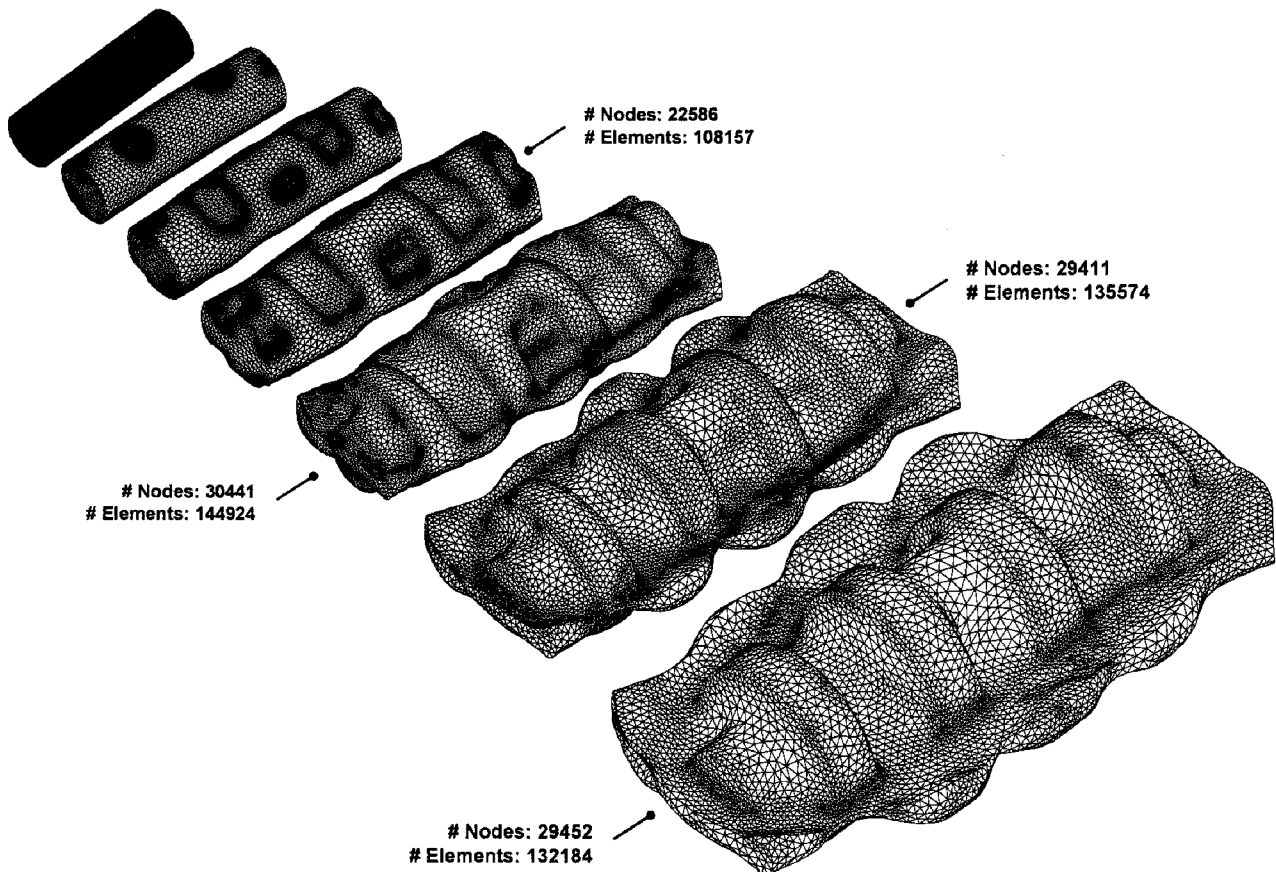


Fig. 3 Simulation result of crankshaft

3. 실험

개발에 사용된 장비는 Fig. 4 에서 보는 바와 같이 40 톤 카운터블로해머이다. 이 단조기는 국내에서 동급 최대의 해머단조기이다. 이 단조기로 낼 수 있는 최대 하중은 약 40000 톤에 이르는 것으로 판단된다.

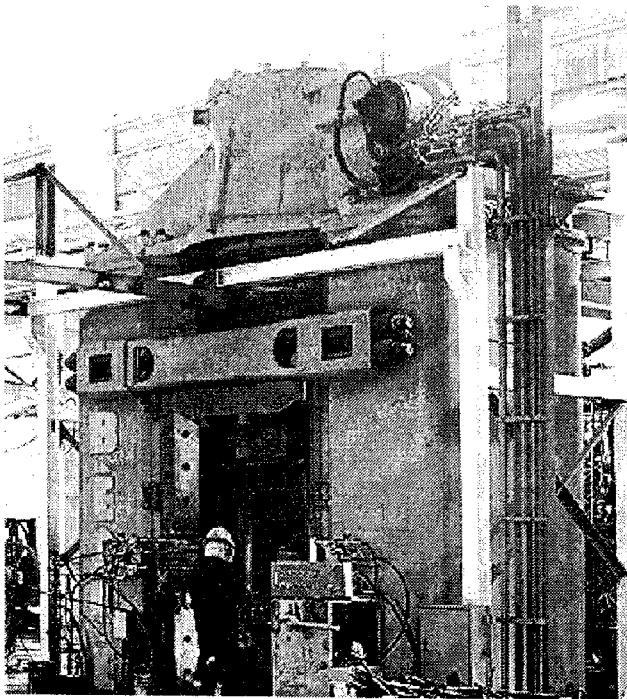
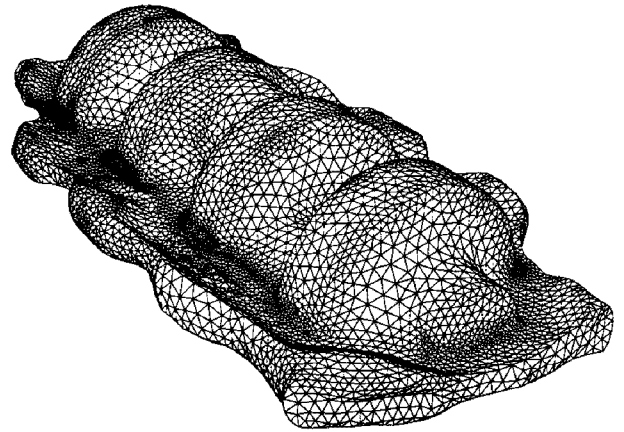


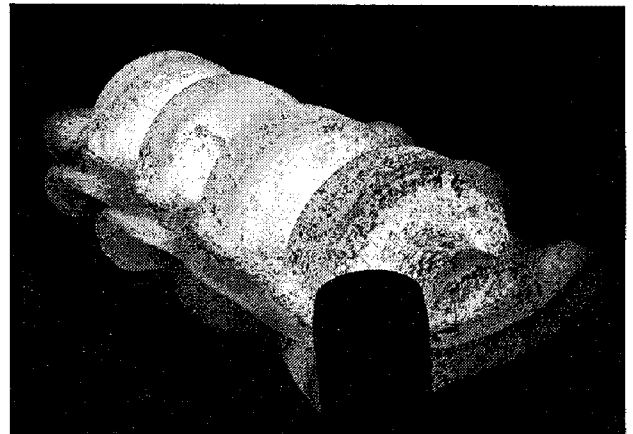
Fig. 4 40 ton counter-blow hammer machine

총 50 여회의 타격이 가해진 후 최종형상의 단조 제작이 완료되었다. 단조 중, 금형과 대기와의 접촉으로 인한 냉각과 소성열에 의한 가열이 반복되는데, 단조 중에 추가 가열이 불필요할 정도로 소재의 급격한 냉각은 목격되지 않았으므로 초기 가열만으로 단조 작업을 완료하였다.

Fig. 5 는 단조 종료 직후의 단조품을 실험결과와 비교해서 나타내고 있다. 외곽 형상의 해석결과와 실험결과가 비교적 잘 일치함을 확인할 수 있다. Fig. 6 은 플래쉬를 제거하고 냉각시킨 이후의 단조품의 형상을 나타내고 있다.



(a) Predictions



(b) Experiments

Fig. 5 Comparison of predictions and experiments

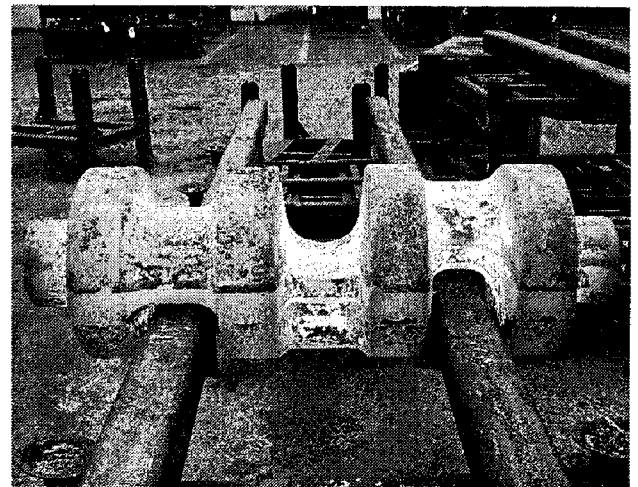


Fig. 6 Final closed die forging after trimming

4. 결 론

본 연구에서는 발전기용 대형 크랭크샤프트의 형단조 기술이 개발되었다. 단조품의 중량은 850 kg 이며, 이는 기존의 국내 최대 형단조품의 중량을 크게 증가시킨 것이다.

본 연구 목적으로 40 톤급 카운터블로헤머단조기가 사용되었고, 공정 설계는 단조 시뮬레이터를 이용하여 최적화되었다. 하나의 단조품을 생산하는데 총 50 여회의 타격이 실시되었다. 단조 중 우려되는 소재의 냉각은 크게 나타나지 않았다. 이는 단조 중에 발생한 소성열이 금형 및 대기와 소재의 접촉으로 발생하는 냉각과 균형을 맞춘 것에 기인하는 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여 국내 형단조 기술의 새로운 지평을 열었으며, 축적된 경험 기술을 바탕으로 고부가 대형 단조품의 형단조가 활성화될 것으로 기대된다. 이는 대형 기계부품의 신뢰성 향상으로 연결되어 소형화 및 중량최소화에 기여함으로써 기계산업의 국제경쟁력 제고에 기여할 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 2단계 BK21사업 및 산업자원부 지역 혁신 인력양성사업에 의해 지원되었음.

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] A new forging method for crankshafts bars, Machinery, Vol. 76, No. 6, 1970.
- [3] 박승희, 윤성만, 신상엽, 박래원, 박종국, 이용기, 김대두, 1999, 선박 중형엔진용 일체형 Crankshaft 단조장치에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제8권 제3호, pp. 237-244.