

비대칭 레일강으로부터 대칭 레일강으로의 열간단조 공정설계

조해용*(충북대학교 기계공학부), 이기정, 오병기(충북대학교 대학원), 이학규(강원레일테크)

Process Design for Hot Forging of Asymmetric to Symmetric Rail Steel

H. Y. Cho (Mech. Eng. Dept., CBNU), K. J. Lee, B. K. Oh (Grad., CBNU), H. G. Lee (Kangwon Railtech)

ABSTRACT

Process design of hot forging, asymmetric to symmetric rail, which is used for the turnout of railway express has been investigated. Owing to the big difference in shape between the initial billet and the final forged product, it is impossible to hot forge the rail in a single step. Therefore, multi step forging as well as die design for each step are necessary for the production. The deformation behavior during hot forging has been analyzed by the numerical simulation through commercial FEA software, DEFORMTM-2D. Modification of the design and repeated simulation have been carried out on the basis of the simulation result. For comparison with the simulation results, flow analysis experiment using plasticine has been also carried out. The results of the flow analysis experiment showed good agreement with those of the simulation. Therefore, the developed process design could be applied to the actual production.

Key Words : Process design(공정설계), Hot forging(열간단조), Asymmetric(비대칭), Symmetric(대칭)

1. 서론

열간단조 공정 및 금형설계는 많은 공정 변수들로 인하여 주로 현장의 경험과 직관에 의존하여 왔다. 그러므로 작업자의 역량과 특성에 따라 각기 다른 설계 및 공정으로 많은 시행착오가 발생하였다. 따라서 금형 제작 비용과 시간을 줄이기 위하여 컴퓨터를 이용한 연구가 활발히 진행되어 왔다.^{1,2)}

Ward 등³⁾은 열차바퀴의 다단 열간단조 공정에서 소재와 다이가 받는 열영향을 DEFORM 을 이용해 해석하였으며, Qingbin 등⁴⁾은 AISI1045 디스크 고속 열간단조의 열적거동을 시뮬레이션하여 다이 온도와 단조속도의 영향에 관하여 연구하였다. Doege 등⁵⁾은 스퍼기어, 헬리컬기어 및 커넥팅로드를 생산하기 위한 각기 다른 밀폐형 열간단조 다이에 대하여 연구하였으며, Choi 등⁶⁾은 리브-웹 형태의 제품 단조 위한 블로커를 설계 할 수 있는 자동화 시스템을 개발하였다. 그러나 이 연구 결과들은 축대칭 및 좌우대칭인 일반적인 것에 대한 연구였다.

최근 제품의 종류가 다양해짐에 따라 비축대칭 및 비대칭인 것에 대한 관심이 높아지고 있으나 아

직까지 이와 관련된 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 일정한 형상으로 규격화되어 생산되는 고속철도용 비대칭 레일인 KS70S 가 분기기에서 대칭 레일인 KS60KG 로 형상 변화하는 구간에 대한 열간단조 공정을 강소성유한요소 해석프로그램인 DEFORMTM-2D 로 시뮬레이션하여 공정설계 한 후, 플라스티신(plasticine)을 이용하여 유동해석 실험을 함으로써 시뮬레이션에 의한 공정설계를 검증하고자 하였다.

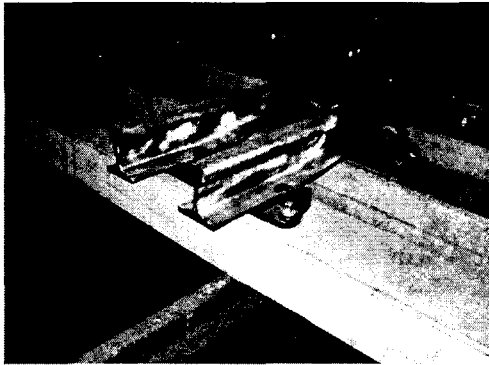
2. 유한요소 해석

2.1 해석 방법

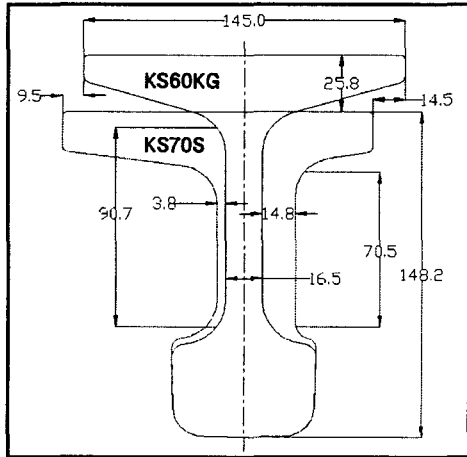
고속철도 레일의 분기기는 Fig. 1 과 같은 비대칭 레일인 KS70S 에서 대칭 레일인 KS60KG 로의 형상변화 구간을 갖는다. 그러나 Fig. 1(b)에서와 같이 두 형상의 높이 차이가 크기 때문에 한번의 공정으로는 성형이 불가능하다. 따라서 다단 성형을 위한 공정설계가 요구되어진다.

KS70S 는 Fig. 1 (b)에서처럼 편심되었기 때문에 좌측다이 높이를 높게 하고 우측을 낮게 함으로써 집중하중으로 인한 성형량을 다르게 하였다. 시뮬레이션을 위한 전처리과정으로써 각각의 다이는 강

체로 가정하고 좌측다이 고정, 우측다이 및 상부다이의 이송속도는 2 mm/s로 설정하였다. 경계조건으로써 레일의 초기온도는 1050℃, 다이 예열온도는 100℃~200℃로 하였으며, 다이, 인서트 및 레일은 표면 전체와 내부에서의 열전달을 고려하였다. 다이와 다이 사이의 마찰상수는 0.1, 레일과 다이 사이의 마찰상수는 0.3으로 설정하였다.



(a) turnouts



(b) shape comparison

Fig. 1 Shape of transformed parts from KS70S to KS60KG in turnouts

2.2 해석결과

Fig. 2는 전체 가공여유 0.6 mm, 다이 예열온도 100℃인 Model_1에 대한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션된 최종형상은 가공여유인 0.6 mm내에 들었다. 그러나 Fig. 3의 하중그래프에서 제 1공정이 마무리 될 때 하중이 급격히 증가함을 알 수 있었다. 이는 레일 두부의 성형이 완료되어 금속이 다이 내부를 채움으로써 접촉면적이 증가하여 하중이 급격히 증가되었다고 판단 되었다. 따라서 성형하중 증

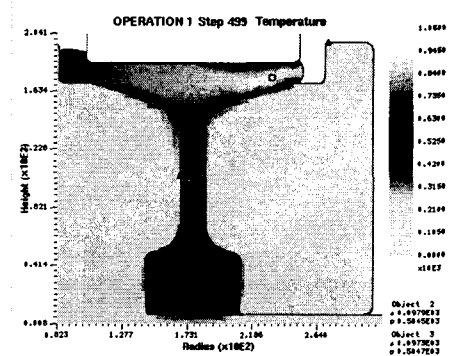


Fig. 2 Simulated forging process - Model_1 (die velocity 2.0 mm/s, preheating 100℃)

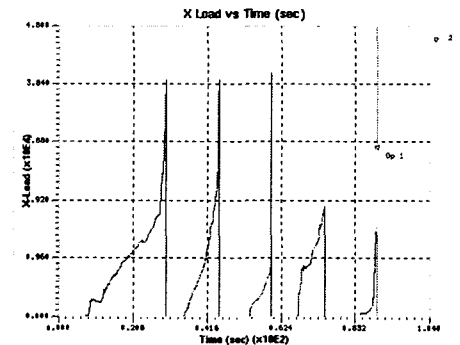


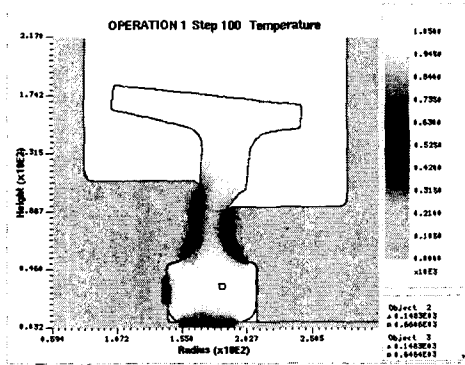
Fig. 3 Impressed load according to the side die

가에 따른 프레스 용량의 증가를 피하기 위해 보다 효율적인 금형설계가 요구되었다.

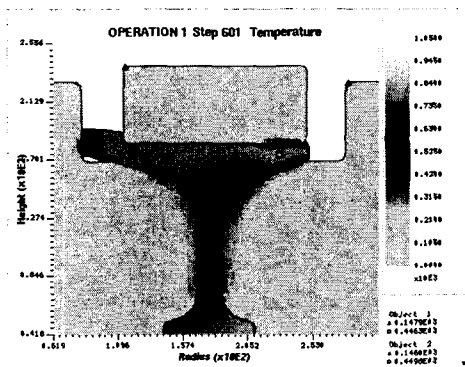
Model_1의 레일 헤드부 성형 중 급격한 하중 증가를 방지하기 위한 금형이 설계되어졌으며, 이에 대한 시뮬레이션인 Model_2의 결과는 Fig. 4와 같다. 이 모델은 레일 두부쪽의 가공여유가 1 mm이고 두부를 제외한 전체 표면은 0.6 mm이다. 하지만 두부쪽의 가공여유를 크게 설계함으로써 리브부분을 통해 웨브쪽으로 유동했던 두부쪽의 금속유동량이 줄어 웨브가 짧은 쪽으로 유동 시켜야 할 금속량이 줄었기 때문에 웨브성형을 3공정에 걸쳐 함으로써 더 많은 금속을 유동 시키고자 하였다.

Fig. 5는 각각의 공정에서 우측다이에 작용한 하중으로 최대 하중은 약 30,000 N/mm이다. 그럼에서 알 수 있듯이 레일 헤드가 완전히 성형되는 제 1공정인 경우 Model_1에서 나타난 하중의 급격한 증가는 나타나지 않았으나 제 2,3공정에서는 비슷한 양상을 보이고 있다. 이는 후속 공정으로 갈수록 성형량은 줄지만 소재냉각 및 접촉면적의 증가로 급격한 하중 증가를 초래하였다. 또한 상부다이

에 의한 성형하중은 우측다이와 거의 같은 결과값이 나타났다.



(a) end of the 1st process



(b) end of final stage

Fig. 4 Simulated forging process - Model_2 (die velocity 2.0 mm/s, preheating 200 °C)

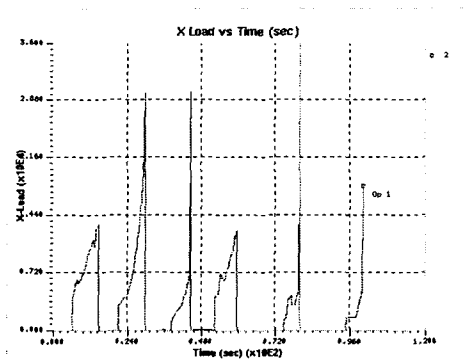


Fig. 5 Impressed load according to the side die

따라서 전체 성형길이 720 mm에 대한 프레스 하중은 $30,000 \text{ N/mm} \times 720 \text{ mm} / 9.8 \text{ N/kg}_f = 2,204,081 \text{ kg}_f$ 가 된다. 여기서 프레스 여유하중을 약 300 t_f을 주면 요구되는 프레스 하중은 약 2500 t_f가 된다.

3. 실험

3.1 실험장비 구성 및 실험조건

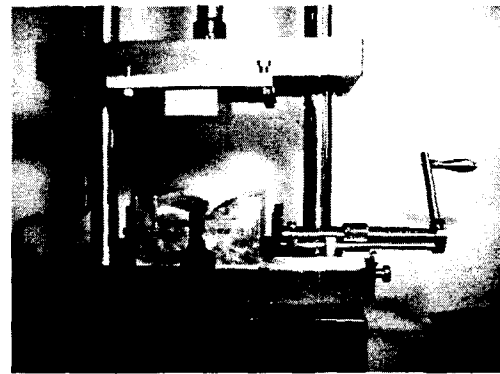


Fig. 6 Experimental set-up

다이 및 인서트는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 크기의 70%로 축소하여 알루미늄합금(AI5052)으로 제작하였으며, 프레스에 고정하기 위한 지그와 측면 프레스 역할을 할 다이 이송장치를 제작하였다. 이렇게 제작된 다이 및 장치들을 Fig. 6과 같이 프레스 위에 설치하였다.

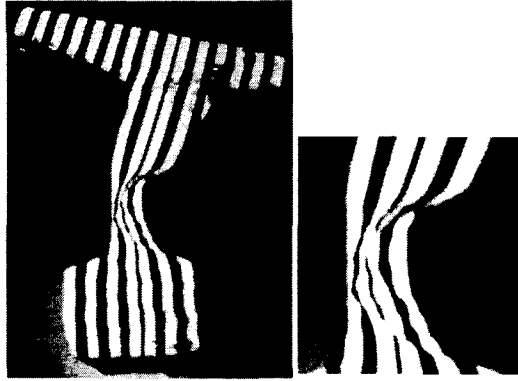
시편은 플라스틱인을 이용하여 흑색과 백색을 두께 3 mm 판으로 만든 후 Fig. 7(a)와 같이 유동방향으로 적층하고 레일 형상으로 제작하였다. 또한 시편과 다이 간의 윤활제로 비눗물을 사용하였으며, 다이의 한쪽을 밀폐시켜 소재의 유동을 억제함으로써 평면변형 조건을 만들어 실제 공정과 유사하게 하였다.

3.2 실험결과

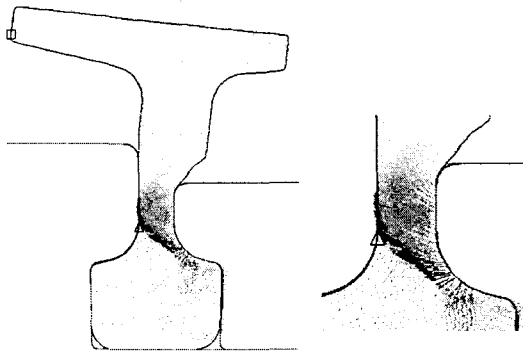
실험은 Model_2의 시뮬레이션 공정 및 실험조건에 준하여 진행하였다. Fig. 7(a)는 제 1 공정 완료 시 플라스틱인의 유동을 나타내는 그림이다. 소재는 그림에서 보는 것과 같이 고정다이가 있는 쪽으로 유동하면서 동시에 웨브쪽으로 유동하고 웨브가 짧은 쪽으로 소재가 휘다. 실험결과는 DEFORM™-2D에 의한 시뮬레이션에서 소재의 유동을 나타내는 Fig. 7(b)와 거의 유사하게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 8은 동일한 조건 하에 실험한 두 개의 시편에 대하여 모든 공정이 끝났을 때의 단면 형상이다. 소재의 유동은 공정이 진행되면서 측면다이 쪽

으로 이동하면서 동시에 웨브쪽으로 이동하고 다시 거의 수직으로 이동한 뒤 웨브가 긴 쪽으로 이동한



(a) result of experiment after the 1st process



(b) result of simulation after the 1st process

Fig. 7 Comparison the result of experiment with simulation after the 1st process

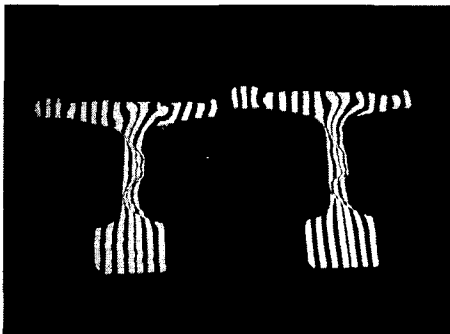


Fig. 8 Two test pieces after final stage under same conditions

다. 상부다이에 의한 단조 시 웨브가 긴 쪽은 길이 방향으로의 축소를 나타내고 있으며, 레일의 중심을 기준으로 웨브가 짧은 쪽으로 소재가 유동 되면서 길이 방향으로 축소가 되었다. 이는 시뮬레이션에서의 소재 유동과 잘 일치 하였다.

4. 결론

고속철도 분기기의 형상 변화구간을 위한 열간 단조 공정설계의 시뮬레이션 및 유동해석 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 프레스 용량을 줄이기 위해서는 레일 두부의 가공 여유를 크게 해야 하고 제 1 공정에서 두부 성형을 완료하는 공정을 설계하여야 한다.
- (2) 시뮬레이션 결과와 유동해석 실험에서의 유동 양상이 잘 일치하였다. 따라서 본 연구에서 설계한 공정은 현장 적용이 가능할 것이다.

참고문헌

1. J.M.C. Rodrigues, P.A.F. Martins, "Finite element modeling of the initial stages of a hot forging cycle", Finite Element in Analysis and Design, Vol.38, pp.295-305, 2002.
2. Shinichiro Fujikawa, "Application of CAE for hot forging of automotive components", J. of Materials Processing Technology, Vol.98, pp.176-181, 2000.
3. M.J.Ward, B.C.Miller, "Simulation of a multi-stage railway wheel and firming process", J. of Materials Processing Technology, Vol.80- 81, pp.206-212, 1998.
4. Liu Qingbin, Fu Zengxiang, Yang He, Wu Shichun, "Coupled thermo-mechanical analysis of the high-speed hot-forging process", J. of Materials Processing Technology, Vol.69, pp.190-197, 1997.
5. E.Doege, R.Bohnsack, "Closed die technologies for hot forging", J. of Materials Processing Technology, Vol.98, pp.165-170, 2000.
6. J.C.Choi, B.M.Kim, S.W.Kim, "Computer-aided design of blockers for rib-web type forgings", J. of Materials Processing Technology, Vol.54, pp.314-321, 1995.