

상용차 브레이크 캠샤프트 성형의 건전성 평가

차용훈*, 성백섭⁺, 김재열⁺⁺

(논문접수일 2010. 12. 21, 심사완료일 2011. 2. 2)

The Soundness Evaluation of Cam Shaft Moulding for the Commercial Vehicle Brake System

Yong Hun Cha*, Back Sub Sung⁺, Jae Yeol Kim⁺⁺

Abstract

In this paper, the computer simulation analyzed the effective plastic strain and temperature behaviors. The quantitative analyses which proposed the effective mold design of S/CAM shaft was executed. The parameters of forging shape that affected on the optimize conditions that was calculated with simple equation were investigated. it is expected that the developed analysis model and design technique would greatly contribute to the drum brake optimal design considering effective plastic strain and temperature affected behaviors. This development could save more than 20% of production cost and reduced failure rate to more than 30%. By improving the life span of mold from 15,000 to 25,000, financial difficulty of company imposed on a mold manufacture could be overcome.

Key Words : Forging(단조), Drum brake(드럼 브레이크), S-Cam shaft(캠 샤프트), Commercial vehicle(상용차), Effective Plastic strain(유효소성변형률), Temperature behaviors(온도거동), F.V.M(유한체적법)

1. 서론

최근 세계 자동차 산업은 생산 능력 확장 및 세계 자동차 수요가 증가함에 따라 각 자동차 회사들의 경쟁력 확보 및 환경 규제에 대응하는 부품 개발에 투자를 아끼지 않고 있다. 또한, 생산라인의 최적화를 통하여 개발비용 절감, 성능 및 품질 향상, 개발기간의 단축, 생산원가의 저감 등의 효과를 원하고 있다.

자동차산업은 첨단기술의 결집체로서 철강, 비철금속, 플라스틱, 복합재료 등 다양한 소재 산업, 공장자동화, CIM/CAD/

CAM, 산업용 로봇산업, 공장자동화, CIM/CAD/CAM, 산업용로봇^(1,2) 등 광범위한 산업분야들과 직접으로 연관되어 자동차 부품공업을 중심으로 하는 산업체나 중소기업 육성효과가 매우 크다.

그러나 최근 들어 제조업에 대한 심각한 문제 중의 하나는 3D기피업종의 대표적인 산업으로 일 할 사람이 없다는 것이다. 기계가 첨단화, 자동화되더라도 기능면에서 고도의 숙련성과 자동차 부품 생산업계 종사하는 인원의 평균연령이 고령화 추세에 있어 기존의 생산방식을 전환 할 필요가 있다.

브레이크는 차량의 감속 및 제동작용을 하는 장치로써 승객

* 조선대학교 기계공학과

+ 교신저자, 조선대학교 친환경자동차인재양성센터 (sbsung@chosun.ac.kr)
주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동

++ 조선대학교 메카트로닉스공학과

의 안전과 관련된 가장 중요한 장치중 하나이다. 브레이크는 차량 제동시 감속도에 따른 제동력을 요구하며, 현재 엔진, 서스펜션 기능의 진보, 도로환경의 정비와 더불어 차량이 고속화됨에 따라 브레이크의 요구되는 성능은 더욱 많아지고 있다. 그러한 요구성능의 증가와 더불어서 브레이크는 경량화, 저소음 등의 기술적 문제 등의 해결도 요구된다.

브레이크에는 드럼 브레이크(drum brake)와 디스크 브레이크(disc brake)로 크게 구분된다. 디스크 브레이크는 승용차에서 주로 사용되며, 드럼 브레이크는 대형 상용차량에서 사용된다. 드럼 브레이크는 밀폐형 내부 확장식(Internal expansion type)으로 2개의 브레이크 슈(shoe)가 확장하여 드럼에 접촉함으로써 제동력을 발생한다. 상용 차량에서는 큰 제동력을 필요하므로 드럼 브레이크가 상대적으로 국내에서는 많이 사용되어지고 있다.

따라서, 본 논문에서는 자동차 부품 소재로 많이 사용하고 있는 S45C는 상용차 브레이크 시스템의 S/CAM 샤프트 제품에 적용 생산하고 있다. 그러나 S/CAM 생산과정에서 여러 공정으로 인한 생산단가의 상승으로 경쟁력이 떨어지고 있다. 이에 기존 금형의 문제점을 파악하고, 생산 금형을 개발하고자, 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였으며, 개발된 금형을 이용한 부품생산의 전 단계 과정을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여, 제품의 정확한 성형상태를 예측하고, 열간단조 수치해석을 통하여 단조품의 온도 분포도와 응력 분포도 등을 분석하였다.

2. 열간단조

단조란 금속재료를 소성이 용이하도록 일정한 온도로 가열하여 외력을 가해서 주조조직을 파괴시켜 재질의 향상으로 기계적 성질을 개선시키고, 필요로하는 형상과 치수로 가공하는 두 가지 목적으로 수행하는 소성 가공법의 일종이다.

단조품은 주조 품에 비하여 조직이나 기계적 성질이 우수하여 강도를 향상시킬 수 있어 주요 부품들은 단조품을 사용하는 경향이 있다. 그러나 단조품은 적당한 재료에 한정되어 있다.

열간단조에 있어서 성형성에 대해서는 그것에 관련되는 인자가 상당히 많다. 즉 가열온도의 부적당, 스케일제거의 불충분, 단조온도의 저하, 윤활제 피막의 불균일과 단조소재의 금형에의 밀착 등 단조작업 그 자체가 직접적으로 영향을 미치는 이외에 제품설계, 형설계, 그 외에 소재형상치수와 가공방식과의 관련 등에 의한 재료의 흐름의 문제와 서로 더욱 복잡하게 관련해 있어 결코 간단하지는 않다. S/CAM 샤프트 자동차부품에 대한 금형을 실행 하는데 있어 열간단조의 온도에 의한 성형의 영향과 성형에서 자주 문제가 과정을 해결하고자 하였다.

열간 공정은 냉간과는 달리 열에 의한 효과가 크므로 이를 고려하기 위한 온도해석이 필수적이다. 이온도의 해석결과에 의해 각 단계 마다의 재료의 거동 및 해석조건들이 달라지기 때문

이다. 온도해석에 있어서는 연속체역학(Continuum Mechanics)에 몇 가지 열역학 이론을 도입하여 사용되어져 왔으나 실제로 일반적인 문제에 적용하여 해석하는데 어려운 점이 많았다^(3,4). 그래서 순수 열역학적인 이론에 기초하여 소성변형에 의해 발생하는 재료내부의 온도분포를 해석하는 방법이 제시 되었다. 이는 1980년에 Rebelo와 Kobayashi에 강점소성 유한요소법^(5,6)에 도입되어진 이후 지금까지 발전되어 왔다.

3. 실험

3.1 재료 및 브레이크 시스템

본 실험에 사용된 강은 S45C로 현재 S/CAM 샤프트 양산에 사용되는 강으로 합금 조성은 Table 1과 같다. 해석에 적용되는 브레이크는 Fig. 1과 같은 상용 브레이크의 공기식(Full Air Type) 브레이크이며, 드럼(Drum)은 차량의 Wheel과 같이 반시계 방향으로 회전하며 원통형 형상이다. S-Cam은 S자 형상으로, 작용력인 공기압(Air Pressure)에 의해 반시계 방향으로 회전하여 슈(Shoe)를 확장시키는 확장자이다. 라이닝(Lining)은 회전하는 Drum을 정지시키기 위한 마찰재이며, Shoe는 림(Rim)과 웹(Web)의 결합품으로 Lining이 Drum과 마찰 할 수 있도록 지지하는 구조물이다. 좌측은 리딩 슈(Leading Shoe)이고 우측은 트레일링 슈(Trailing Shoe)이다. 롤러(Roller)와 롤러 핀(Roller Pin)은 Shoe에 결합되어있고, S/CAM의 작용력을 Shoe에 전달하는 매개체이다. 앵커 핀(Anchor Pin)은 Shoe를 고정하는 구조물로 Hinge 역할을 한다. 특히, 구성부품 중에서 S/CAM 샤프트는 헤드부와 축부로 나누어져 있으며, 헤드부의 형상이 기하학적 형상이어서 생산과정이 복잡하고 상

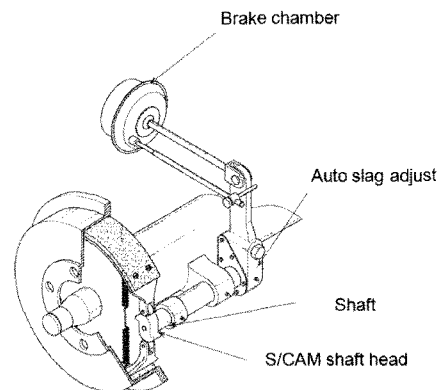


Fig. 1 Full Air brake structure

Table 1 Chemical composition of S45C

	C	Si	Mn	Cu	S	P
S45C (Wt.%)	0.43	0.21	0.71	0.16	0.009	0.025

용차의 특성상 대형차이므로 브레이크 시스템이 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 따라서 부품의 강도 및 수명이 매우 중요하여 제작상 어려움이 많고 품질 규정이 까다로워 생산업체들이 매우 어려움을 토로하고 있다.

3.2 주조방안 및 설계

Fig. 2에서와 같이 소재입고시 기계적성질 및 화학적성질 등의 영향이 품질에 매우 큰 영향이 미치고 있으며, 소재절단시에는 절단면과 절단면의 크랙이 발생하면 단조를 실시하더라도 제품에 하자가 발생한다. 또한 절단작업시 이혼재 혼입에 따른 결합요인도 무시 못하는 부분이다. 본 논문에서는 단조과정을 위하여 가열하는 온도는 1100℃~1300℃ 범위에서 이루어지며, 단조시에는 미성형 및 금형마모가 발생하여 생산비용이 추가되는 현상이 발생할 수 있어 가열과정과 단조과정에서 매우 심열을 기울여 생산을 해야 한다. 또한 단조 시 필히 발생할 수밖에 없는 트림부분이 발생함으로 트리밍 과정을 필히 거쳐 한다.

상용차용 캠 샤프트의 단조금형은 생크부와, 생크부의 단부에 설치되며 반경방향으로 상호 대응되며 소정 곡율의 외주면이 형성된 제1, 2캠부를 가진 헤드부를 포함하는 것으로, 캠 샤프트의 생크부의 규격에 따라 상호 결합부에 의해 적층 및 분리 가능하며 각각 상하방향으로 생크 성형부를 가지는 금형

들과 단위금형들 중 선택된 하나와 결합되며 헤드부를 성형하기 위해 상하방향으로 헤드 성형부가 형성된 헤드 성형금형과 헤드 성형금형과 결합되어 헤드 성형공간을 구획하는 커버금형을 포함한다. 이 단조금형의 하나의 성형금형을 이용하여 규격이 다른 동일 형상의 캠 샤프트를 단조할 수 있어 단위 생산 원가를 줄일 수 있다.

S/CAM 샤프트 열간단조 과정은 소재절단에서부터 제품 생산에 이르기까지 매우 다양한 공정을 거치며 1차 UPSETER 공정을 거쳐 형상을 잡아주고, 2차 공정에서 S/CAM 부 형상을 성형하여 3차 공정에서 최종 마무리 성형을 한다. 또한 최종 3차공정이 끝나면 트리밍 과정으로 선삭과정 이전과정을 마무리하게 된다.

3.3 S/CAM 샤프트 해석 및 방법

열간단조 공정에서 가장 중요한 것은 소재가 가열되고, 단조금형 내에서 정확한 형상을 만드는 것이 가장 중요하며, 형상이 이루어지는 동안 온도변화와 형상을 이룰 때 가장 많이 영향을 미치는 응력을 분석하는 것이 중요하다, 이를 분석하기 위하여 전산해석 프로그램인 Superfuge 2007를 이용하여 실시하였다.

Superfuge 2007는 단조 해석 프로그램중에서도 유한체적법과 유한요소법의 두 가지 솔버를 기반으로 3차원 적인 소재의 형상 변화 및 금형의 응력 분포를 정확히 표현할 수 있어 소재에 따른 성형과정을 빠른 시간 내에 검토 할 수 있다.

S/CAM 샤프트는 Open Forging으로써 유한체적법(F.V.M)으로 솔버를 선택하였으며, S/CAM 샤프트의 성형성에 대하여 최적의 열간단조 조건으로 해석을 하여 분석 하였다. 전산해석 프로그램을 사용하기 위해서는 2D에 도면을 3차원으로 만들어야 하며, 3차원 설계 프로그램인 UG NX5를 이용하여 상부 금형과 하부 금형을 각각 모델링하여 하였다.

Fig. 3은 상부 및 하부 금형을 이용한 S/CAM 샤프트 생산을 위한 열간 단조금형의 시뮬레이션을 나타낸 그림이다. 그림에

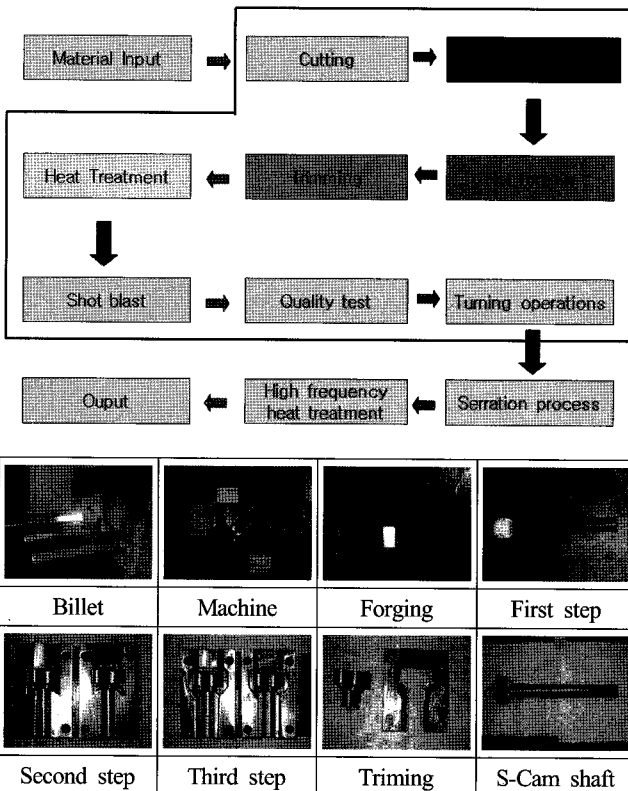


Fig. 2 Flow of forging process

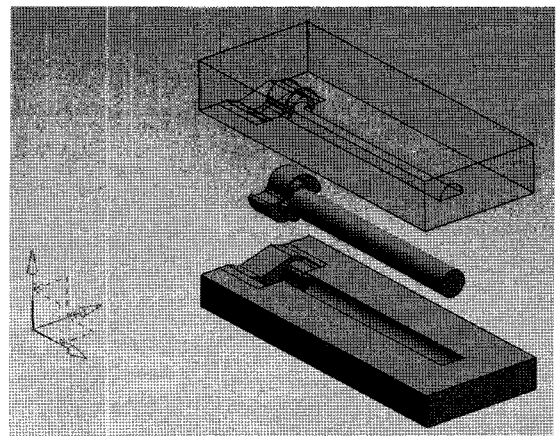


Fig. 3 S/CAM shaft forging setting

Table 2 Boundary conditions for the hot forging

No.	List	Process Value
1	Element size	2.0mm
2	Die temperature	250°C
3	Material temperature	1200 ~ 1300°C
4	Solver	F.V.M
5	Friction	0.1
6	Forging	Hot
7	Press	Hydraulic press
9	m/s	1

서 알 수 있듯이 3차원 모델링화 하였다.

Table 2는 열간 단조를 위한 구속 조건을 나타내었다. 단조를 위한 구속 조건으로 엘리먼트 사이즈는 2.5mm로 하였으며, 금형에 온도는 250°C로 하였으며, 워크피스에 온도는 1200~1300°C로 하였다.

전산해석에 솔버는 유한체적법(F.V.M)을 각각 선택하였고, 마찰력은 0.1을 각각 주었다. press는 Hydraulic press로서 가압 속도를 1m/s로 일정한속도로 가압을 하도록 조건을 주었다. 각 조건에 대한 해석결과 값은 %로 구분하여 10%씩 나누어서 결과 값을 산출하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 Effective Plastic strain 해석

상용차 S/CAM 샤프트 부품은 가압단조 공정에서 상부 금형에 가압으로 인하여 성형이 이루어진다. 상용차 S/CAM 샤프트의 가압단조 공정에 변형률을 해석함으로 공정변화에 따라 변형률이 증가함으로 성형이 이루어지는 변화를 볼 수 있다.

Fig. 4은 상용차 브레이크 드럼의 S/CAM 샤프트 부품을 Effective plastic strain에 대하여 해석한 결과이다. 변형률 해석을 통하여 성형을 이루어지면서 공정 구간마다 얼마나 변형이 작용하고 있는지를 분석하여 변형률이 stress에 얼마나 영향을 주는지 알 수 있다. 성형을 이룰 때에 strain을 분석함으로 성형이 시작되고 종료되는 동안에 금형으로부터 균일하게 작용하는지 여부를 판단 할 수 있다.

그림에서 알 수 있듯이 공정이 20%가 지날 경우 상부금형에서는 S/CAM 샤프트 헤드 부분에서 스트레인이 헤드부에서 작용하는 것을 보이며 이 부분에서 최대 변형률인 1.847E-001이 작용하는 것을 알 수 있었다.

공정 약 30%에서 변형률이 2.424E+001로 나왔으며, 캠부의 하단에 스트레인이 집중하는 현상을 관찰 할수 있었다.

공정 60%에서는 변형률이 6.371E+001, 70%에서는 8.689E+001로 측정되어 최대의 유효소성 스트레인 값을 나타내었다.

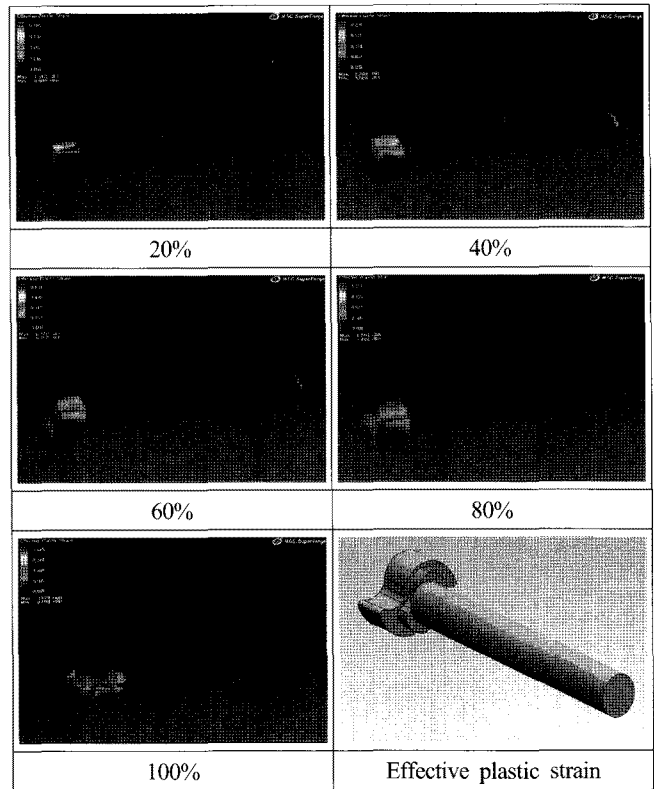


Fig. 4 Effective plastic strain of S/CAM shaft

이는 캠 형상이 완성되는 단계이며, 많은 스트로크 및 형상에 따른 접촉압력을 많이 받기 때문인 것으로 관찰 되었다. 공정 80%에서는 변형률의 최대 값이 1.221E+001이고, 최소값이 7.895E-005로 측정 되어 70%~80%사이에 형상이 거의 완료 되는 것을 알 수 있었다.

100% 공정에서 만이 최대값이 3.619E+000로 측정되고 최소값은 0으로 측정 되었다. 이는 가압단조 프로세스가 오픈 금형으로 소재에 잔여 때문에 접촉이 먼저 되는 소재에 상부부터 성형에 변형률 값이 높게 나오고 점차 다운 스트로크가 커질수록 상부에 성형이 먼저 끝나고 하부에 성형이 이루어지는 것을 알 수 있으며, 해석을 통하여 S/CAM 샤프트 부품의 가압단조에 따른 대표적인 변형을 가져오면서 성형이 이루어짐을 알 수 있었다.

4.2 온도의 영향거동 해석

성형 공정 중에 겉 표면 온도 및 내부온도에 대한 분석을 위하여 온도의 영향거동에 대하여 분석하여야 한다. 열간단조 공정에서는 온도 해석이 매우 중요하며, 내부 온도의 변화로 인하여 잔류응력의한 수축과 결정 조직 형성에 많은 영향을 주기 때문이다.

Fig. 5에서와 같이 S/CAM 샤프트 단조금형 시 내부온도의 변화를 전산 해석하여 분석한 결과 금형과 처음으로 접촉하는

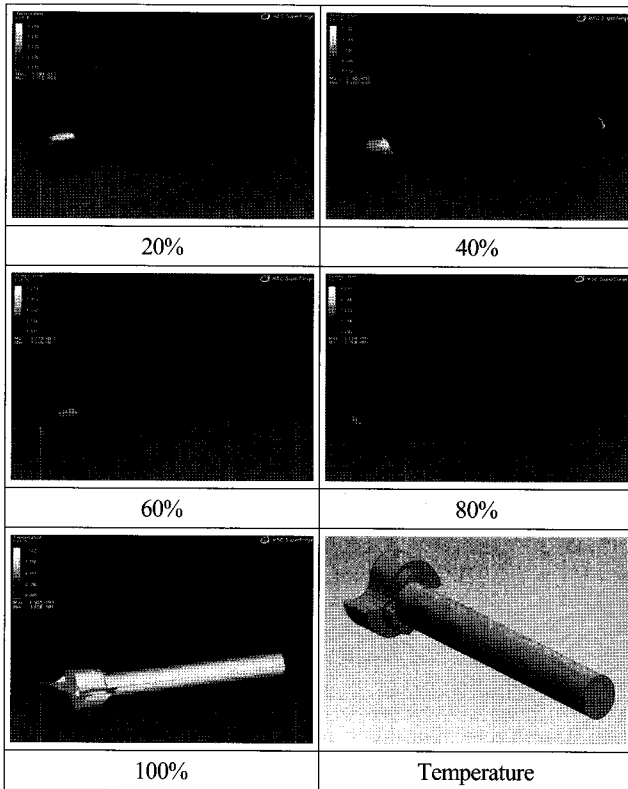


Fig. 5 Temperature of S/CAM shaft

부분은 대략 27°C가 내려가는 것을 볼 수 있다. 이것은 금형의 온도 및 외부의 온도가 낮기 때문에 공정의 진행과정에서 급격하게 내려가기 때문인 것을 알 수 있다. 하지만 내부 온도는 변화가 없는 것으로 나타났으며, 공정이 20%가 진행되었 때는 내부온도와 외부 온도가 13°C 정도 차이가 나는 것으로 측정되었다.

공정 40%~50%에서는 헤드부 형상이 어느정도 형성되어지고 있는 형상을 볼수 있는데 온도에는 큰 변화가 없으며 최대온도가 926°C 정도로 관찰 되었다. 이 온도 변화가 급격히 내려가거나 올라가는 것이 아니라 약 827°C~927°C를 유지 하면서 성형이 이루어짐을 볼 수 있고, 내부 온도 변화도 가압으로 인하여 급격히 올라가거나 내려가는 현상은 보이지 않았다. 60% 구간에서 소재의 온도가 950°C로 관찰되었으며, 80%에서는 997°C까지 상승 되었다.

90%에 공정이 이루어지면서는 아직 잔여분에 성형이 이루어지는 곳에서는 약 1023°C를 유지 하는 것을 보였고, 100%공정이 끝났을 때는 소재의 온도가 1309°C로 안정화를 찾아가는 것을 볼 수 있다. 이것은 가열 온도와 가압으로 인한 마찰열에 의하여 순간적으로 초기에 부여한 온도 이상으로 상승하였다.

4.3 재료거동 해석

재료거동 해석은 열간단조에 따른 재료의 유동거동을 해석한

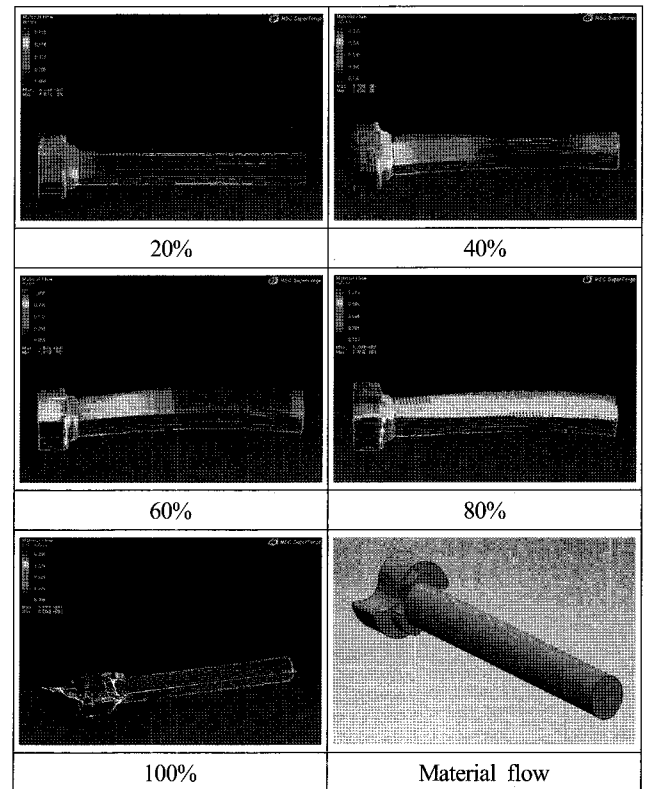


Fig. 6 Material flow of S/CAM shaft

것으로 형상변화 관찰 및 불량 제품을 수정하기 위한 금형수정 과정에서 유용하게 쓰이는 해석부분이다.

Fig. 6에서와 같이 공정 10%~50%에서 재료의 유동거동이 가장 활발히 이루어짐을 알 수 있으며, 60% 공정에서 빠르게 유동거동이 둔화되는 현상을 관찰할 수 있었다. 그림에서와 같이 헤드부 및 축부가 어느정도 형상이 형성되었음을 알 수 있다.

공정 60%에서 물성 유동이 최대 1.009E-000, 최소 5.469E-002로 측정 되어 급격히 감소함을 알 수 있었다. 이것은 소재의 형상이 어느 정도 잡혀져가는 과정과 완성되어져가는 단계임을 알 수 있다.

공정 80%~100% 과정에서 재료유동거동이 증가되는 현상을 관찰할 수 있는데 이것은 단조가 완성되어지는 과정에 피팅으로 인한 결과로 해석되며 결국 제품의 품질에는 영향을 주지 않으며, 최종 공정단계에서 트림금형에 의해서 제거되어지게 된다.

4.4 유효 응력 해석

Fig. 7은 열간단조에 따른 응력상태를 해석한 것으로 형상변화 따른 응력의 집중도를 관찰하여 불량이 발생할 수 있는 부위를 관찰할 수 있었으며, 응력의 집중도를 피하고 내부 잔류응력을 최소화 하는데 유용하게 사용할 수 있었다.

그림에서와 같이 S/CAM 샤프트 특성상 헤드부에서 헤드부

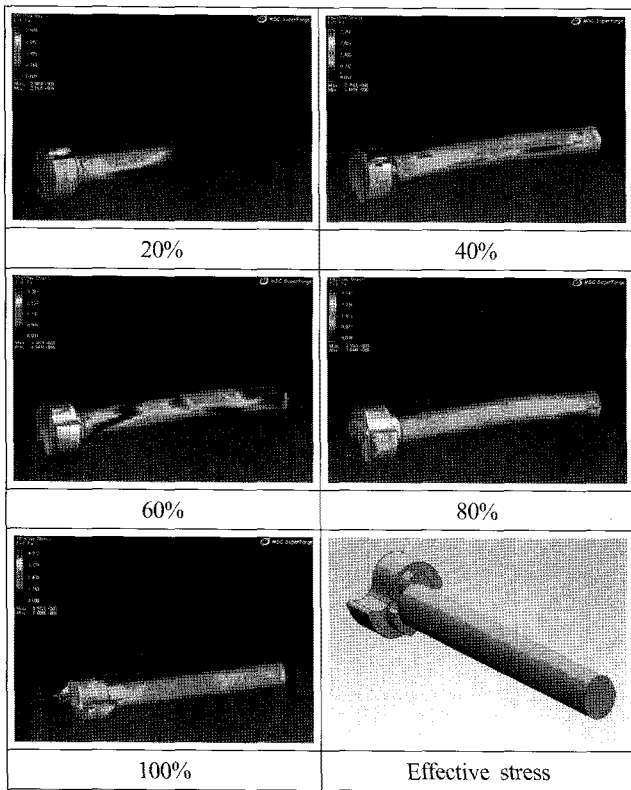


Fig. 7 Effective stress of S/CAM shaft

형상에 많은 응력이 집중되어 캠 모양으로 형성되어지므로 불량 발생할 수 있음을 알 수 있다.

그림에서와 같이 공정 10%~80%까지 응력이 계속해서 상승하는 것을 관찰할 수 있었으며, 최대 3.592E+008, 최소 3.844E+006로 측정 되었으며, 공정 90%에서 최대 3.586E+008, 최소 5.110E+007로 다소 낮게 측정되었음을 관찰할 수 있었다.

공정률 100%에서는 최대 4.972E+008로 측정 되었으며, 최소치는 0으로 측정 되었다.

4.5 표면경도 결과 분석

열간단조 방식으로 제작한 S/CAM 샤프트를 헤드부 및 축부로 나누어 브리넬 경도계를 이용하여 경도 실험을 실시하였다. S/CAM 샤프트는 선삭가공 및 세레이션 작업 후 표면열처리를 통하여 최종 제품이 된다. 따라서 본 연구에서는 열간단조 한 후 경도시험을 행한 것은 무의미함으로 최종단계인 표면열처리 후 경도시험을 행한 후에 실험을 실시하여 SM45C 소재의 일반 표준 경도가 도달하면 Q-C에 합격하는 것으로 하여 실험을 실시하였다. 그 결과 수회에 걸쳐 경도시험을 실시하였으나 제품이 표준강도에 미달하는 경우는 발생하지 않았다.

Table 3은 브리넬 경도 실험한 결과이며, Fig. 8은 그 결과를 그래프로 도시화 한 것이며, 결함이 예측되는 위치를 선택하여 각각 10회씩 60회를 측정하였다. 그림에서와 같이 측정값이 210 정도의 일정한 경도값으로 측정되어 제품의 품질기준에 도

Table 3 Brinell hardness test of S/CAM shaft

No.	test number										average
	1	207	203	212	226	200	223	207	212	198	
2	200	229	198	219	187	224	229	207	200	221	211.40
3	187	200	212	218	226	212	203	200	187	212	205.70
4	229	207	180	207	224	180	200	229	212	226	209.40
5	200	221	218	212	200	223	180	219	224	223	212.00
6	229	221	203	180	226	224	200	221	198	200	210.20
Total											209.52

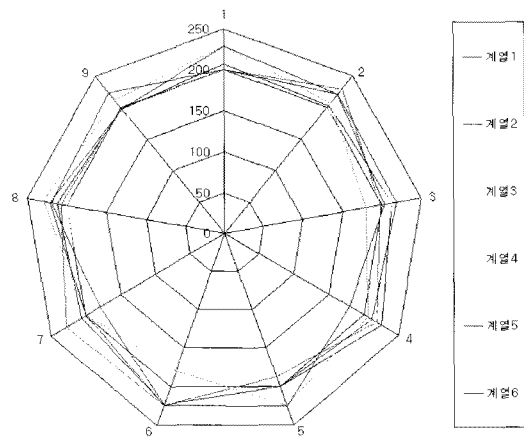


Fig. 8 Brinell hardness test

달하였음을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 상용차 풀 에어 타입 브레이크 드럼 시스템의 S/CAM 샤프트 캠부 전용 개발을 위하여 생산공정을 개선하고 단조 금형에 따른 전산응용 프로그램을 이용하여 성형 해석을 하고자 하였으며, 실험과정을 통하여 최적의 금형조건을 설정하고자 하였다.

열간단조로 생산되는 S/CAM 샤프트에 대하여 변형률, 응력, 온도변화 및 소재 유동거동 해석을 한 결과 하부 금형 보다 상부 금형에서 금형과의 접촉이 먼저 일어나고 공정에 80%가 진행되었을 때에는 성형에 필요한 상부와 하부 일치과정이며, 나머지 공정은 성형을 이루는 데 필요한 공정으로 분석되었다.

스트레인 해석결과 상부 금형 가압에 의하여 소재에서 일어나는 변형률이 다르게 나타남을 알 수 있었다. 공정에 50%가 진행 되었을 때에는 소재가 금형과 1차적으로 접촉하는 부위에 변형률이 크게 나타남을 알 수 있었고, 단조 과정에서 금형과 소재가 100%접촉이 일어났을 때 변형률은 중심부 뿐 만 아니라 소재에 전체적으로 높은 변형률이 나타남을 알 수 있었다. 축샤프트 길이가 다양한 특징을 가지고 있는 S/CAM 샤프트를

단일 금형으로 생산할 수 있도록 금형 개선을 통하여 하나의 금형으로 여러종류의 S/CAM을 제작 가능하였으며, SM45C 소재를 1100℃~1300℃ 가열한 후 열간단조 방식을 이용하여 제작한 부품의 건전성을 확보하였다.

후 기

본 결과물은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구 결과입니다

참 고 문 헌

- (1) Hsiao, J. S., 1985, "An Efficient Algorithm for Finite-Difference Analysis of Heat Transfer with Melting and Solidification," *Numerical Heat Transfer*, Vol. 8, No. 6, pp. 653~666.
- (2) Kim, E. S., Lee, K. H., and Moon, Y. H., 2000, "A Feasibility Study of the Partial Squeeze and Vacuum Die Casting Process," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 105, pp. 42~48.
- (3) Rebelo, N., Rydstad, H., and Schroder, G., 1980, *Simulation of Material Flow in Closed-Die Forging by Model Techniques and Rigid-Plastic FEM, in Numerical Method in Industrial Forming Process*, Pineridge press, Swansea. U.K. pp. 237~249.
- (4) Choi, Y. H., and Lee, Y. S., 1997, "The Effects of Discharge Condition on Mechanical Properties of Injection Moldings," *Trans. of KSME*, Vol. 6, No. 1, pp. 84~91.
- (5) Oh, S. I., Rebelo, N., and Kobayashi, S., 1979, *Proc. IUTAM Symp. Metal Forming Plasticity*, Springer, Berlin, p.273~291.
- (6) Sung, B. S., and Kim, I. S., 2008, "The Molding Analysis of Automobile Parts using the Die-Casting System," *Jouranal of Materials Processing Technology*, Vol. 201, No. 1-3, pp. 635~639.