

# 중공형 금속복합재료의 Thixoforging 금형설계 및 공정해석

허재찬\* · 이승후\*\* · 강충길\*\*\*

## Thixoforging Die Design and Process Analysis of Hollow Shape Part with Metal Matrix Composites

J. C. Heo, S. H. Lee and C. G. Kang

### Abstract

The die design of the liquid and semi-solid forming process is performed by CAE technology. The die design by the computer simulation has some advantages compared with the conventional method which has been performed by the designer's experiences in trials and errors. The defect zones such as porosity and shrinkage has been predicted by simulation results. The result of the numerical analysis for the proposed casting condition shows the characteristics of thixotropic flow, and was used to determine the geometry of the gating system and die cavity. The optimized production conditions were also proposed by result of computer aided engineering.

**Key Words** : Thixoforging Process(반응용 성형공정), Die design(금형설계), Hollow shape Metal Matrix Composites(금속복합재료)

### 1. 서론

충전과 응고라는 두 가지 주된 과정의 반응고성형공정을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 기술과 경험을 중심으로 한 현장기술을 접목한 새로운 기술들이 선진외국과 대기업을 중심으로 국내에서도 그 이용이 급속히 증가하고 있는 추세이다[1].

용탕 충전 및 응고현상에 대한 수치해석을 통하여 반응고구조공정 상에 발생하는 용탕 충전 및 응고과정을 신속하고 정확하게 예측함으로써 주조결합의 문제점을 미연에 방지하여 생산비 절감과 함께 단시간에 주조방안의

설정을 가능케 하는 최적화된 반응고 주조공정설계에 이용하고자 한다. 지금까지 전산 해석을 이용한 반응용 성형 공정의 금형 설계에 관한 연구사례는 거의 없었으나, 최근에 기존의 주조공정에 이용되어진 알고리즘에서 수정을 가한 것 등을 이용한 연구사례가 보고되어지고 있다. Backer[2]는 전형적인 다이캐스팅의 충전과 응고에 이용되어지는 알고리즘에 수정을 가한 반응용 성형 공정의 CAE 소프트웨어를 소개하였다. Tims[3] 등은 상용 code를 이용하여 반응용 재료금속학적 충전 거동을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 구현하였다. Lipinski[4] 등은 새로 개발한 알고리즘을 소개하여 3차원 충전 해석을 수

\* 부산대학교 대학원  
\*\* 부산대학교 대학원  
\*\*\* 부산대학교 기계공학부

행하였다. 반응용 단조의 경우 용탕 상태의 주조와 고체 상태의 단조와는 유동현상과 응고 양상이 다르므로 본 연구에서는 MAGMASoft의 Thixo 모듈을 이용하여 중공형 금속복합재료 제품의 충전 및 응고 해석을 통하여 금형 설계에 적용한 예를 소개하고자 한다.

## 2. 반응용 성형의 전산해석

### 2.1 유동 모델

반응용 소재의 유동 모델은 전단변형을 속도(shear rate)의 변화에 따른 점도의 의존성을 이해하여야만 한다. 액체상태의 알루미늄 소재는 전단변형을 속도가 증가함에 따라 급격히 점도가 감소한다.

비뉴턴 소재의 유동은 기본적인 전단 선도로서 설명할 수 있는데 Fig.1에 전단변형을 속도의 증가에 따른 점도의 감소를 나타내는 의사소성재료의 전단 변형을 선도를 나타내었다. Fig.1의 전단 변형을 속도만 가지고는 디스토르픽 유동을 정확하게 이해하기는 힘들므로 Fig.2에 레오로지 유동 모델을 좀더 자세히 이해하기 위해서 점도가 낮은 뉴토니안 영역과 점도가 높은 뉴토니안 영역, 그리고 power-law의 적용이 가능한 점도가 변화하는 영역으로 나누어서 전단변형을 속도와 점도와의 관계를 나타내었다[5].

케비티내의 충전 해석에 이용되어지고 있는 방법으로는 SOLA-VOF방법과 MAC방법과 이를 개량한 SMAC 방법이 충전 해석에 널리 이용되어지고 있으며 상용 code는 MAGMASoft를 비롯하여 ProCAST, CastCAE 등이 있다[6]. 이와 같은 방법들과 해석 code들은 해석 대상이 3차원 형상일 경우에는 직육면체의 작은 사각형으로 검사체적이 나누어지므로 계산영역이 계단식의 지그재그 모양이기 때문에 체적이 어느 정도 큰 검사체적에 대해서는 주형 내의 유동 양상을 예측하는데는 큰 문제가 없다. 그러나 주입구가 좁은 부분이나 경사부, 모서리부 등에서는 정확한 충전 양상을 예측하기가 어렵다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 요소를 세분화 할 경우에는 가능하나 연산시간이 증가하게 된다.

### 2.2 형상 모델링 및 해석조건

본 연구는 상용 CAD 소프트웨어인 CATIA를 이용하여 제품, 금형, 코어의 3차원 솔리드 모델링을 수행하고 MAGMASoft를 이용하여 게이트 방안을 설정하였다.

CATIA를 이용한 실린더 라이너의 모델링 형상과 주조 전용 상용 코드에서 형상 인식을 위한 STL 파일 형상

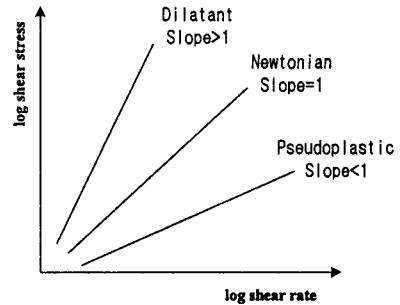


Fig. 1 Basic shear diagram for dilatant, Newtonian and pseudoplastic fluids

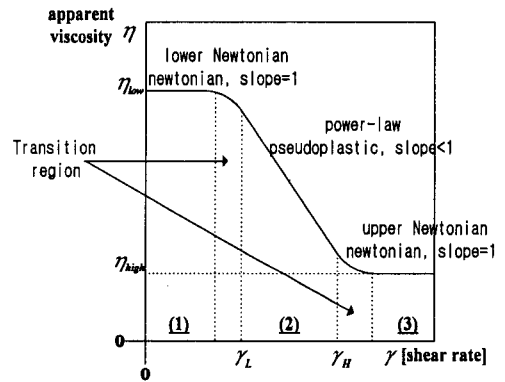


Fig. 2 The relationship between apparent viscosity and shear rate

결과는 Fig.3과 같다. MAGMASoft의 전 처리기에서 STL file로부터 제품, 게이트, 러너, 코어 등의 재료정보를 생성하였다. 고정 다이, 이동 다이 및 열전대의 위치 등은 MAGMASoft의 전 처리기 자체 형상 모델러를 이용하여 생성하였다. 주조방안을 도출하기 위하여 게이트 형상을 Fig.4와 같이 오버 플로어의 유무, 그리고 게이트의 직경변화 등의 4가지 형상에 대하여 비교 해석하였다. 반응용 가압 성형 중 가스의 유출을 위하여 오버 플로어의 유무에 따른 유동특성을 비교하여 금형 설계에 응용하였다. 재가열 중 빌렛표면에 산화층이 형성되기 때문에 이러한 산화층이 라이너 소재내부에 포함되면 기계적 성질이 급격히 저하됨은 물론 라이너로써 기능을 발휘할 수 없다. 따라서 성형 중 산화층을 제어하기 위해서는 게이트의 크기와 형상이 극히 중요하다. 본 연구에서는 빌렛의 직경이 76mm를 기준으로 하여 게이트의 직경을 35mm, 45mm로 하여 설계에 필요한 기준을 설정하였다(Fig 4).

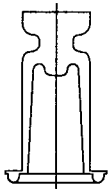


(a) 3D modeling for CATIA

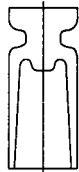


(b) STL file for geometry transfer

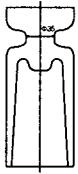
Fig. 3 The geometry modeling of designed gating system



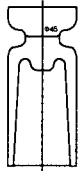
(a) with overflow



(b) without overflow



(c)  $\Phi$ gate= 35

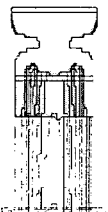


(d)  $\Phi$ gate= 45

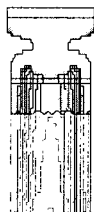
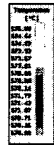
Fig. 4 The designed various gating system

### 2.3 해석결과 및 고찰

Fig.4에서 제시한 모델 금형 형상에 대하여 금형 내의 충전 및 응고 현상을 살펴보았다. 오버 플로어의 유무에 따른 해석 결과를 Fig.5 ~ Fig.6에 나타내었다. Fig.5은 70% 충전시 온도분포를 나타내었고 Fig.6은 100% 충전

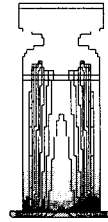


(a) with overflow

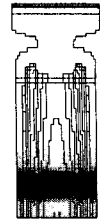


(b) non-overflow

Fig. 5 The simulation result at 70% fill state (80MPa, 250mm/s)



(a) with overflow



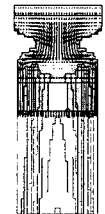
(b) non-overflow

Fig. 6 The pressure distribution at 100% fill state (80MPa, 250mm/s)

시 압력분포를 나타내었다. Fig.5의 결과에서 온도분포는 오버 플로어 유무에 관계없이 거의 동일함을 알 수 있지만 Fig.6의 결과에서 100% 충전완료 시 압력 분포는 오버 플로어가 있는 경우가 더 큰 압력을 받는다는 것을 알 수 있었다. Fig.5 ~ Fig.6의 결과로 오버 플로어가 있는 경우가 오버 플로어가 없는 경우보다 더 양호하다는 것을 알 수 있었다.



(a)  $\Phi$ gate= 35



(b)  $\Phi$ gate= 45

Fig. 7 The simulation result at 70% fill state (80MPa, 250mm/s)



(a)  $\Phi$ gate= 35



(b)  $\Phi$ gate= 45

Fig. 8 The velocity distribution at 70% fill state (80MPa, 250mm/s)

게이트의 직경에 따른 해석 결과를 Fig.7~8에 나타내었다. Fig.7을 보면 충전양상과 충전과정 중의 온도분포는 게이트의 직경과 관계없이 거의 일정하다는 것을 알 수 있다. Fig.8 (a), (b)는 70% 충전 시 속도분포를 나타내었다. Fig.8 (a), (b)를 비교해 보면 게이트에서 속도는

Fig.8 (a)인 경우 즉 게이트가 작은 경우가 Fig.8 (b)의 경우 보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있지만 게이트 통과 후 제품에 충전 될 때의 속도는 거의 비슷한 것을 알 수 있다. 게이트의 직경이 작으면 상대적으로 속도가 증가한다는 것을 알 수 있었고 충전 과정에서 충전되는 속도가 빠르면 그 만큼 빨리 충전이 되어 용탕이 충전시 응고되는 것을 방지할 수 있기 때문에 더 양호한 품질의 제품을 성형할 수 있을 것이라 사료된다.

전산 해석 결과를 비교해본 결과, 먼저 오버 플로어의 유무가 해석에 미치는 영향에 대해서는 Fig.5 ~ Fig.6에 서처럼 오버 플로어가 있는 경우가 없는 경우 보다 양호한 결과를 얻을 수 있었다. Fig.7 ~ Fig.8에서 보인 것처럼 게이트의 형상에 따른 해석의 차는 게이트부에서의 속도차이를 제외하고는 거의 없었다.

즉 게이트 직경이 해석에 미치는 영향은 속도를 제외한 충전해석에서 보면 미미하다고 판단할 수 있었다.

먼저 게이트형상에 대해서는 위에서 설명한 바와 같이 산화막의 유입을 방지하기 위하여 오리피스 형으로 만들었고 게이트직경에 대한 측면에서 Fig.8와 같이 게이트에서의 속도가 Fig.8 (b)  $\phi_{gate} = 45$ 의 경우보다 빠른 Fig.8 (a)  $\phi_{gate} = 35$ 의 경우를 선택하였다. 마지막으로 오버 플로어의 유무에 따른 측면에서 살펴보면 Fig.6 (b)의 오버 플로어가 없는 경우보다 Fig.6 (a)의 오버 플로어가 있는 경우가 더 높은 압력분포를 가지므로 Fig.4 (a)와 Fig.4 (c)를 병합한 모델인 게이트의 직경이 35 $\phi$ 이고 오버 플로어가 부착된 금형을 제작하였다.

설계되어진 금형을 이용하여 실험을 수행하였으며 공정 해석결과는 지면관계상 여기서 생략한다.

### 3. 결 론

금속복합재료의 중공형 원통형모양을 성형하기 위하여 반응용 성형공정에 필요한 금형설계에 있어서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) CAE을 통하여 반응용 성형 공정의 유동 pattern을 쉽게 파악 할 수 있었고 해석 결과를 기초로 게이트의 크기와 위치 등을 결정할 수 있었다.

(2) 충전 실험을 수행한 결과 Ostwald-de Waele 유동 모델이 전산 해석을 이용한 반응용 성형 공정의 금형 설

계에 적합함을 알 수 있었다.

(3) 충전해석과 응고해석의 결과를 통하여 반응용 성형시 유동과 수축공을 예측하였고 이를 금형설계에 응용하였다.

(4) 오버플로어의 유무와 게이트의 크기변화에 따른 금형설계결과로부터 성형조건을 도출할 수 있었다.(계산 결과는 지면관계상 본 논문에 생략하였음)

### 참 고 문 헌

- (1) C. P. Hong, "State of the Art of Computer Simulation Based Casting Technology", Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 15, No. 1, P.5-13
- (2) Gerald P.Backer, "Computer-Aided Engineering Software for Semi-Solid Metal Manufacturing", Journal of the Minerals, Metals & Materials Society (JOM), August 1998, P.21-23
- (3) ML Tims, J Xu, G Nickodemus and FR Dax, "Computer based numerical analysis of semi-solid metalworking", Proc. of 4th Int. Conf. on Semi-solid Processing of Alloys and Composites, Sheffield, June 1996, D. H. Kirkwood, P. Kapranos, eds., Univ. of Sheffield, Sheffield, UK, 1996, P.120-125
- (4) D. M. Lipinski and E. Flender, "Numerical Simulation of Fluid Flow and Heat Transfer Phenomena for Semi-Solid Processing of Complex Castings", Proc. of 5th Int. Conf. on Semi-solid Processing of Alloys and Composites, Golden, CO, June 1998, A. K. Bhasin, J. J. Moore, K. P. Young, S. Midson, eds., Colorado School of Mines, Golden, CO, 1998, P.273-280
- (5) MAGMASoft version4.0 thixo module manual, p.5-16
- (6) C. P. Hong, "State of the Art of Computer Simulation Based Casting Technology", Journal of the Korean Foundry Society, Vol. 15, No. 1, P.5-13