

# 응고해석, 설계기술의 발달

한국생산기술연구원 디지털설계센터 조인성 · 최정길

## 1. 주물의 중요성 및 설계기술

주물의 품질과 생산성을 향상시키기 위해서는 정확하고 신속한 주조방안의 작성이 필요하다. 주조품의 건전성은 주로 용탕이 주형내에서 응고하는 과정에서 결정된다. 따라서 응고과정에 있어서의 여러 가지 현상을 정확하게 파악하고 응고과정을 정량적으로 제어하는 것은 주조방안을 설정하는데 있어서 대단히 중요한 일이라 하겠다[1].

급속가공법이란 “주어진 소재를 (i)목적으로 하는 형상과 치수의 제품으로 가공할 것, (ii)목적으로 하는 미세조직과 성능을 구비할 것” 두가지 기본조건을 만족시켜야 한다. 주조법은 용탕의 유동성을 이용하여 복잡한 형상을 비교적 용이하게 제조할 수 있는 최대의 장점을 가지고 있는 반면에 이로 인한 커다란 문제점 또한 가지고 있다[2].

주조품의 건전성이나 성능은 용탕이 주형공간에 충전되는 과정이나 주형 내에서 응고하는 과정에서 일어나는 제반 물리적 현상과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 이러한 물리적 현상들은 상당히 복잡하고 아직 학문적으로도 해결하지 못한 점이 많아 해석적인 방법으로 해석하기 어려우며 따라서 건전한 주조품을 만들기 위해서 많은 비용과 시간을 들여 반복적인 시작품을 거쳐 최종 제품의 설계 및 제조하는 것이 일반적이었다. 그러나 최근 컴퓨터 시뮬레이션의 각종 기법의 연구개발에 의하여 용탕의 충전 및 응고과정에서 일어나는 제반 물리적 현상을 컴퓨터를 이용하여 해석하고 사전검토를 통해 설계에 반영함으로써, 실제로 많은 시작품이 제조를 생략할 수 있게 되어 시간과 경비를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 새로운 제품의 개발이 보다 신속하게 이루어질 수 있게 되었다[3].

## 2. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 유동, 응고 예측 기술의 발달

### 2.1 응고해석 및 열전달 해석

응고해석 및 열전달 해석은 1954년 Sarjant와 Slack[4]에 의해 처음으로 유한차분법을 이용하여 주강 잉고트의 응고해석에 적용되었다. 이후 1970년대 초에는 Comini[5]등에 의해 유한요소법을 이용하여 응고해석이 시도되었으며, 1980년대 초에는 Hong[6]에 의해 경계요소법이 처음으로 주조품의 응고해석에 적용되었다.

각종 주조품의 응고해석에 관한 연구개발이 본격적으로 행하여진 것은 1970~1980년대라고 할 수 있다. 컴퓨터 하드웨어 기술의 급속한 발전과 3차원의 복잡한 주물의 형상을 컴퓨터에 쉽게 입력 처리할 수 있는 전처리기 및 결과를 표시하는 후처리기 등의 그래픽 기술의 발전과, 각종 주조공정을 해석할 수 있는 응고해석기술이 개발되어 응고에 의한 주조결함을 예측하고 이를 방지할 수 있는 설계를 위한 방법으로 각광받고 있다.

응고해석 프로그램으로는 유한차분법을 이용한 일본의 HICASS, SOLAN, SOLDIA, 독일의 Magmasoft, 프랑스의 Simulor, 국내에는 Z-Cast, Anycasting등이 있고, 유한요소법을 이용하는 미국의 ProCast, 일본의 CASTEM등이 있다.

### 2.2 용탕 충전과정의 열유동해석

주형내 용탕의 흐름은 자유표면을 갖는 복잡한 문제로서 열전달이나 응고해석의 경우 보다 늦게 연구개발이 시작되었으며, 주조공정에서 널리 쓰이고 있는 자유표면 고려 비압축성 유체 흐름해석 기술

은 미국의 Los Alamos과학연구소에서 1965년 MAC[7], 1970년 SMAC[8], 1980년 SOLA-VOF[9]등이 원천기술이다. 이를 주조공정에 처음으로 적용한 것은 1984년 Hwang[10]등에 의해서이며, 이때 2차원 유동해석 기술을 적용하였다.

그후 수많은 연구자들이 연구개발에 힘써 현재는 대부분의 주조공정, 즉 다이캐스팅, 저압주조등 여러분야에서 주형내 용탕의 충전거동을 3차원으로 해석할 수 있게 되었다. 상용화된 유동해석 소프트웨어로는 미국의 FLOW-3D, ProCAST, 독일의 MAGMASoft, 영국의 ASTEC, 일본의 AD-STEFAN, JSCAST등이 있으며, 국내에는 Z-Cast가 있다.

국내의 연구개발은 1990년대부터 연세대학교와 한국생산기술연구원이 공동개발한 SMAC법을 사용하여 주물 탕구방안 설계에 처음 적용 되었으며, 1990년대 후반에는 SOLA-VOF법을 사용하고 있다. 현재는 컴퓨터 계산능력의 진보적인 발전으로 좀더 어렵고 자세한 해석 알고리즘을 사용 가능하게 되었으며, 특히 주형내 역압을 고려할 수 있는 2-phase 유동해석[11], 자유표면을 좀더 세밀하게 표현 가능한 PLIC법[12], 유한차분법의 한계를 넘어서는 FVM법 및 BFC법을 이용한 유동해석등이 국내에서 개발되어 현재 적용단계에 있다.

### 2.3 주조공정 시뮬레이션 해석 및 주물 설계기술의 미래

컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 주조방안 설계자가 주조방안을 설계하는데 시간 및 비용을 획기적으로 절약할 수 있었고, 이들이 주물 기술에 많은 도움을 주었다고 할 수 있으나, 실제로 숙련된 주조방안 설계자가 없이는 효율적인 주조방안 설계가 불가능한 것또한 사실이다. 또한 주조관련 직종 기피현상으로 인한 숙련 주조 설계자들의 감소 및 고령화로 인하여 기술의 연속성을 유지하는 것이 필수적으로 되어가고 있다. 현재의 주조 설계 기술 개발 방향은 비 숙련자도 주조방안을 숙련자처럼 할 수 있는 기술 개발로 전환되고 있다.

한편 1990년 후반부터 인터넷의 급속한 보급 및 기술 발전으로 인하여 주조 설계기술도 인터넷을 이용한 새로운 설계기술 패러다임을 도입할 필요성을 가지게 되었고 다음과 같은 방향으로 기술발전이 이루어지고 있다.

#### 2.3.1 주물의 지능형 설계 기술

비 숙련자도 컴퓨터의 도움을 받아 손쉽게 방안을 설계하는 기술은 1990년대 중반부터 유럽 및 선진각국에서 시도가 이루어지고 졌으며, 초기에는 이미 설계된 압탕을 변경하여 주조방안에 대한 최적화하는 기초연구가 행하여 졌다. 지능형설계 기술은 아직까지 계속 발전하고 있는 기술분야이며, 이에 대한 세계적인 선두그룹은 국내의 한국생산기술연구원이다. 한국생산기술연구원에서는 주조방안에 대한 형상 데이터베이스를 구축해 놓고 이를 새로운 주물설계에 바로 적용할 수 있는 독특한 개념의 기술을 개발하였으며, 초기 탕구, 압탕 방안 설계 및 이를 최적화 할 수 있는 기술을 병행하여 개발하고 있다.[13]

#### 2.3.2 고속연산 기술

컴퓨터 하드웨어의 발전에 힘입어 1980년대에는 상상할 수 없었던 복잡한 형상의 제품들도 빠른 시간내 해석이 가능하게 되었다. 이에 필요한 해석기술로써 병렬해석 기술이 있으며, 1개의 컴퓨터 내 다수의 CPU를 이용하는 SMP기법 및 다수의 컴퓨터를 클러스터링하여 하나의 시스템을 해석하는 MPI 기술이 선진국 및 국내에서 개발되어 이용되고 있으며 국내에서는 SMP와 MPI를 혼용하여 사용하는 기술이 개발되어, 주물설계를 보다 신속하게 설계하는 기술이 개발되고 있다.[14]

#### 2.3.3 인터넷 기반 방안설계 기술

주조설계에도 인터넷 기술이 융합되어 언제나, 어디서나 방안설계를 할 수 있는 인프라 구축 및 관련 기술이 속속 개발되고 있다. 2000년대 초반 인터넷을 이용하여 원격으로 컴퓨터에 접속하여 해석

프로그램을 실행시키는 시도만이 이루어지고 있는 상황이다. 현재는 다수의 고속 컴퓨터를 한곳에 구축하고, 설계자들이 이곳에 원격 접속하여 필요한 해석 데이터들을 전송하여 설계하는 기술(ISC, Internet Simulation Center)이 개발되고 있다. 설계자들은 해석과정을 유비쿼터스 환경을 통하여 장소와 시간에 구애받지 않고 상황을 파악하고 문제해결을 할 수 있는 통합설계 개념으로 바뀌어 가고 있다.

### 참고문헌

- [1] 홍준표 : 대한기계학회지 추계특집호 (1990) 173.
- [2] 홍준표 : 한국구조공학회지 6, 2, (1986) 130.
- [3] J. K. Choi and C. P. Hong : Modeling of Casting and Solidification Processes 1991 (Eds. C.P.Hong et al.), Yonsei Univ. Press, (1992) 337
- [4] R. J. Sarjant and M.R.Slack : J. Iron Steel Inst., 177 (1954) 428.
- [5] G. Comini and S. Del Giudice : Int. J. Numer. Methods Engineering 8 (1974) 612
- [6] C. P. Hong T. Umeda and Y. Kimura : Boundary Elements (Eds. C.A.Breibbia et al.), Springer-Verlag, Berlin (1983) 153
- [7] J. E. Welch, F. H. Harlow, J. P. Shannon and B. J. Dally : Tech Report LA-3425, 1965.
- [8] A. A. Amsden and F. H. Harlow : Tech Report LA-4370.
- [9] B. D. Nichols, C. W. Hirt and R. S. Hotchkiss : Tech Report LA-8355.
- [10] R. A. Stoehr and W. S. Hwang : Modeling of Casting and Welding Processes II, TMS-AIME (1984) 47
- [11] 홍준호, 최영심, 조인성, 황호영, 최정길 : 한국소성기공학회지, 14, 3 (2005) 224
- [12] Y. S. Choi, J. H. Hong, H. W. Hwang, and J. K. Choi : Proc. of Modeling of Casting, Welding, Advanced Solidification Processing XI (2006) 95.
- [13] C. H. Lim, J. H. Nam, I. S. Cho, S. M. Yoo and J. K. Choi : Proc. of World Foundry Congress 67 (2006) 173.
- [14] S. H. Cho and J. K. Choi : Proc. of the 2nd Japan-Korea workshop for YFE, (2005) 253.