

## 반응용 다이캐스팅 공정의 주조방안 설계 시스템 개발에 관한 연구

문찬경\*, 권택환 (부산대 대학원 정밀기계공학과),  
김영호, 최재찬 (부산대 기계공학부 ERC/NSDM)

### A Study on Development Design System of Gating System for Semi-Solid Diecasting Process

C. K. Moon, T. H. Kwon (Graduate School, Pusan Nat'l Univ.),

Y. H. Kim, J. C. Choi (Mechanical Eng. Dept., ERC for NSDM at Pusan Nat'l Univ.)

#### ABSTRACT

The SS (Semi-solid) diecasters usually carry out the SS diecasting experiments before producing new products. At the SS diecasting stages, the runner-gate part is always repeatedly corrected, which leads to a lengthened processing time and increased processing cost. The SS diecasting die design should consider component system factors, such as runner, gate, biscuit, overflow and airvent. A large amount of experience is essential in manual assessment and if the design is defective, much time and a great deal of efforts will be wasted in the modification of the die. Thus human negligence should be minimized.

In this study, die design system for SS diecasting process has been developed to present algorithm of die design, especially runner-gate system. In addition, specific rules and equations for runner-gate system have been presented to avoid too many trials and errors with expensive equipment. It is possible for engineers to be efficient die design of SS diecasting and it will result in reduction of expense and time to be required. And we developed CAD system for SS diecasting die design by AutoLISP language under AutoCAD using proposed algorithm and the database. In addition, we developed the vector analysis program for filling pattern of SS metals.

**Key Words :** SS Diecasting (반응용 다이캐스팅), Gating System (주조방안), Filling Pattern (충진 양상)

#### 1. 서론

반응용 다이캐스팅은 기존의 다이캐스팅 공정에서 발생하는 공기의 유입에 의한 부품의 기계적 인 특성에 대한 불확실성과 단조 공정에서의 복잡 성형의 한계, 성형압력 증가, 그리고 후 가공에 의한 경비 증가 등의 문제점을 보완하기 위하여 액상과 고상이 공존하는 반응용 상태에서 부품을 성형하는 새로운 성형 공정이다. 이 공정의 특징으로는 일반적 주조공정에서 보여지는 수지상 조직(dendrite structure) 대신 액상에 구상화(spheroid) 된 고상이 미세하게 분포되어 응고 시 발생하는 편석(segregation)과 균열(crack)과 같은 결함을 방지할 수 있고, 수축(shrinkage)과 비틀림(distortion)을 감소, 후

가공 감소, 치수정도 상승, 기계적 특성 향상 등 여러 가지의 장점을 가지고 있으며, 최근 전 세계적으로 자동차 부품 생산 분야에서 상업적으로 급속한 발전을 보여왔다.

일반적인 반응용 다이캐스팅 금형 설계는 합금 재료의 선정, 제품의 설계와 게이트와 런너설계, 오버 플로우(overflow) 설계 등의 주조방안의 설계를 포함하고 있다. 그러나 이러한 설계는 제품의 선정만으로 금형 설계가 이루어지므로, 금형 설계 시에 경험적인 지식(know-how)이 크게 작용하고, 풍부한 경험을 가지는 숙련자가 필요로 하게 된다. 또 이러한 경우 반응용 다이캐스팅 금형 설계는 설계자 및 제작자에 의한 시행 착오법(trial and error method)에 의하여 이루어지고, 특히 금형 설계의 핵심인

주조방안에서 일반적인 다이캐스팅 금형 설계와는 달리 층류 유동(laminar flow), 고상률(solid fraction), 점도(viscosity), 그리고 전단률 (shear rate)을 고려한 금형 설계가 이루어지므로 여러 가지 어려움이 따르게 된다.

따라서, 이러한 금형 설계와 제작에 있어서 경험적인 지식들을 데이터 베이스화 하고, 제품의 형상인식과 각 부품의 형상에 적합한 주조방안 설계를 CAD/CAM 시스템을 적용하여 금형 설계에 소요되는 시간적 경비적인 문제를 해결하고, 생산성 향상과 제품의 품질 개선을 이룰 수 있는 시스템의 요구가 증가되고 있다.

S. P. Midson 등은 반응용 다이캐스팅에서 공정 인자들이 성형에 미치는 영향에 대하여 조사하였고<sup>(1)</sup>, C. M. Wang 은 해석을 통하여 반응용 단조 공정에서 최적의 공정 인자들을 결정하였다<sup>(2)</sup>. 또한, O. Hervieu 는 반응용 다이캐스팅 공정에서 충전 양상(filling pattern)과 게이트 속도(gate speed)에 대하여 연구하였고<sup>(3)</sup>, M. Garat 은 반응용 상태 소재의 물리적 기계적 특성에 대한 연구를 하였다<sup>(4)</sup>.

그러나 이러한 연구들은 반응용 다이캐스팅의 경우 특정 제품 형상에 대한 연구가 대부분이었다. 따라서 반응용 다이캐스팅 금형 설계를 CAD/CAM 시스템에 적용한 사례를 극히 미비한 실정이다. 이에 본 연구의 목적은 반응용 다이캐스팅 주조방안을 CAD 시스템에 적용시키는 것이다.

따라서, 본 연구에서 제시되고 있는 시스템은 설계자에게 주조 방안에 대한 설계를 보다 합리적이고 효율적으로 설계하기 위하여 경험적 지식들을 데이터 베이스화하고, 반응용 다이캐스팅 주조방안의 설계를 위한 알고리즘과 규칙을 제시함으로써 설계의 표준화를 이루게 하였다. 이러한 알고리즘 및 규칙을 기반으로 하여 AutoCAD 환경 하에서 AutoLISP 을 이용하여 주조방안 설계 시스템을 구현하였다. 덧붙여 이러한 설계 시스템의 검증을 위해서 충전 양상에 유한 체적법을 이용한 속도 벡터 해석할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

## 2. 시스템 구성과 데이터 베이스

### 2.1 시스템 구성

반응용 다이캐스팅 금형 설계 시스템의 전체 레이아웃은 Fig. 1 에 나타나 있다. 이 시스템은 크게 두 부분으로 나뉘어 지는데 하나는 제품 입력과 소재의 선택 및 수축률을 결정하는 Cast Design 영역이고, 또 다른 하나는 게이트와 런너를 설계하는 Gating System 영역이다.

#### 2.1.1 Cast Design

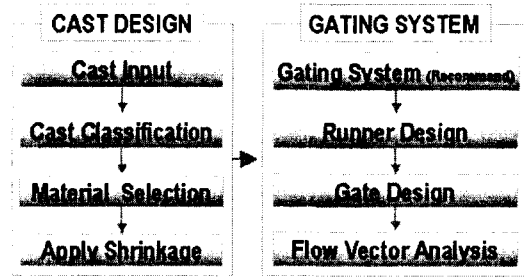


Fig. 1 Flowchart of gating design system for SS die-Casting

이 영역은 제품 형상의 입력, 제품 형상에 따른 제품의 분류, 합금소재 특성을 고려한 소재의 선택, 그리고 소재의 수축률을 결정하는 부분으로 크게 나누어 진다.

먼저 사용자가 설계할 제품을 IGES 파일 형태로 3 차원 모델링하여 AutoCAD 환경 하에 입력을 받는다. 이와 동시에 소재의 주입구(sprue)와 제품과의 거리를 입력한다.

다음은 제품 형상의 입력이 이루어 지면 사용자의 선택에 의한 제품의 분류로 이어진다. 경험적인 지식들 데이터 베이스화 하여 각 제품에 적합한 런너의 형태를 결정하기 위한 기초 데이터로 이용된다. 즉, Gating System 영역에서의 권장 Gating System 의 결정에 사용이 된다.

제품의 분류가 끝나고 나면 소재의 선택을 하게 된다. 마지막으로 수축률을 계산하는 영역이다. 금형소재의 온도 및 열팽창 계수, 그리고 보정 계수를 이용하여 제품의 수축률을 계산하게 된다. 결정되어진 수축률을 입력되어진 제품의 형상에 반영을 하게 된다.

#### 2.1.2 Gating System

이 영역은 게이트와 런너를 실제로 설계하는 영역으로 권장 Gating System 영역, 런너 설계영역, 게이트 설계영역, 그리고 속도 벡터 해석영역으로 나뉘어 진다.

먼저 권장 게이팅 시스템영역으로 앞에서 제시되었던 제품의 분류에 의하여 합리적인 Gating System 의 형상을 설계자에게 제시하여 준다.

제시된 Gating System 형상을 기반으로 하여 런너의 세부적인 형상을 설계자가 직접 설계할 수 있게 Fig.2 에 제시되었다. 런너의 형태에 따라 9 가지의 세부형상을 설계할 수 있도록 하였다. 또한 각각의 입력 창을 통하여 런너의 치수 입력 및 수정이 가능하게 하였다.

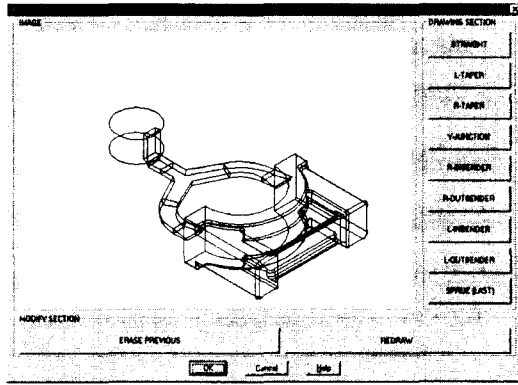


Fig. 2 The part of runner design

다음으로 게이트 설계를 하는 영역으로 설계자에 의하여 설계가 되어진 런너와 제품형상과의 연결을 시키는 작업이다. 게이트의 속도와 반응용 소재의 주입시간 등을 결정하여 게이트 단면적이 결정되게 된다.

마지막으로 충전 양상의 속도 벡터 해석 영역이다. 사용자에게 의한 주조 방안 설계의 타당성을 검증하기 위한 부분으로써 유한 체적법을 이용하였다. 즉, 충전 양상을 사용자가 고려함에 따라서 합리적인 주조 방안을 설계할 수 있도록 하였다.

이러한 프로그램은 AutoCAD 환경 하에서 Visual Basic 과 Visual Fortran 을 이용하여 Fig.3 과 같이 구축하였다.

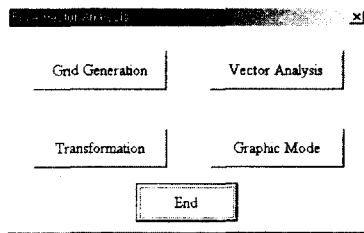


Fig. 3 The part of Flow Vector Analysis

## 2.2 주조방안 설계의 데이터 베이스

일반적으로 반응용 다이캐스팅에 사용이 되는 합금은 알루미늄 합금이나 마그네슘 합금 등이 이용이 되고 있다. 본 시스템에서는 가장 일반적인 반응용 다이캐스팅 합금 소재인 A356, A357, A319 등의 알루미늄 소재를 중심으로 데이터 베이스를 구축하였으며, 각 소재에 대하여 온도에 따른 고상률(solid fraction), 비열, 열팽창계수(Mean coef. Thermal expan.), 고상 및 액상온도 등을 데이터 베이스화 하였다.

제품의 소재가 결정되면 수축률에 적용시켜야 한다. 소재의 수축 여유  $\Delta L$  은 실온을  $20^{\circ}\text{C}$  로 선정하면 다음과 같다.

$$\Delta L = \alpha(t_s - 20) - \alpha_f(t_f - 20)$$

$$\text{Factor} = 1 + (\Delta L \times s)$$

여기서,

$\alpha$  : 합금의 열팽창계수

$t_s$  : 합금의 상승한 온도

$\alpha_f$  : 금형 재료의 열팽창계수

$t_f$  : 금형의 상승한 온도

$s$  : 보정 계수

여기서, 다이캐스팅에 사용되는 수축률의 데이터에서 반응용의 물성치에 응용하기 위해서 보정계수를 0.5 로 선정하였다<sup>(5)</sup>.

수축률이 결정되어지면, 게이트의 크기의 결정에 들어간다. 게이트의 단면적 결정은 충전 양상과 게이트 속도 등에 의하여 결정을 되어진다. 본 논문에서는 사각 게이트, 원형 게이트의 경우를 고려하였고, 게이트 속도 및 단면적에 대한 성형의 적합성에 대하여 조사하였다.

사각형 탕구의 데이터는 이전에 연구되었던 사각형 탕구 실험의 연구 결과를 이용하였고, A357 합금소재에서 층류형 유동을 이루기 위한 게이트 속도는  $630\text{-}5050\text{mm/s}$  로 제시되었다<sup>(6)</sup>.

원형 게이트에 대해서는 실험을 통하여 살펴보았다. 원형 게이트의 램 속도와 원형 게이트의 단면적 변화에 따른 유동의 분석을 하였다. 반응용 합금소재는 A356 을 사용하였으며 고상률은 55%이다. 램의 속도가  $100\text{mm/s}$  인 경우 게이트 직경이  $\phi 40$ ,  $\phi 31.8$  인 경우를 Fig. 4 에 나타내고 있다.

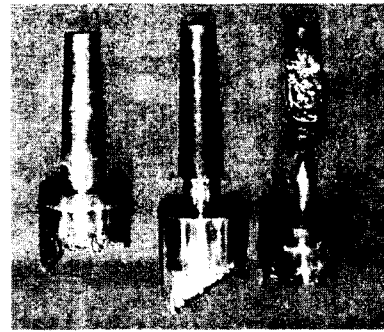


Fig. 4 Photographs of a series of casting made with  $100\text{mm/s}$

램의 속도가  $200\text{mm/s}$  인 경우에도 유동 형태를 Fig.5 나타내었다.  $\phi 40$ ,  $\phi 31.8$  인 경우 유동의 형태가 양호한 것으로 나타났고,  $\phi 18.3$  인 경우 유동이 좋지 못하였다.

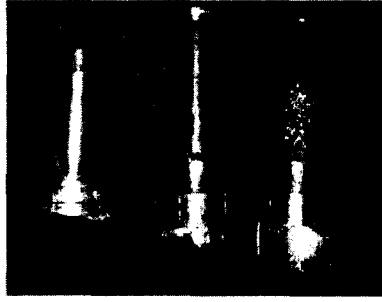


Fig. 5 Photographs of a series of casting made with 200mm/s

각 실험에 대한 결과는 Table 1 에 나타나 있다.

Table 1 The experiment result of circular gate type

	40	400
100	31.8	632.88
	18.3	1911.08
	40	800
200	31.8	1265.76
	18.3	3822.16

이러한 실험을 통하여 원형 게이트의 탕구의 단면적의 결정은 탕구 속도와 밀접한 관계가 있으며 탕구의 단면적이 제품의 충진에 큰 영향을 주는 것으로 사료된다.

### 2.3 속도 벡터 해석을 통한 충진 양상 예측

본 연구에서는 주조 방안 설계의 타당성 검증하기 위해서 충진 양상을 예측할 수 있는 프로그램을 구축하였다. 본 연구에서는 반응용 금속을 Bingham 유체로 가정하고 Sigworth 가 제안한 고상률과 전단응력의 관계를 이용하여 전단응력을 구하였다<sup>(7)</sup>. 또한 전단력과 전단률 속도의 관계는 Papanastasiou 등이 제시한 다음과 같은 관계를 이용하였다<sup>(8)</sup>.

$$\tau_{ij} = \left[ \mu + \frac{\tau_y \left[ 1 - \exp(-nD_{ij}^{\frac{1}{2}}) \right]}{D_{ij}^{\frac{1}{2}}} \right] D_{ij}$$

여기서,

$$\tau_y = 9615 \times \frac{f_s^3}{f_m - f_s} (Pa), \quad f_m = 0.6$$

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right], \quad D_{ii} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 D_{ij}^2$$

### 3. 결론

본 연구는 반응용 다이캐스팅 금형설계 시스템 개발의 기초 연구로써 런너, 게이트 설계에 주요점을 두었다. 사용자가 런너와 게이트를 합리적으로 설계할 수 있는 시스템을 구축하였고, 그에 요구되는 데이터 베이스를 구축하기 위한 게이트 실험을 수행하였다. 또한, 사용자가 설계한 주조방안 설계의 검증을 위하여 유한체적법을 이용한 속도 벡터 해석용 프로그램을 개발하였다.

### 후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

### 참고문헌

1. S. P. Midson, L. E. Thornhill, and K. P. Young "Influence of key Process Parameters on the Quality of Semi-Solid Metal Cast Aluminum Component" 5<sup>th</sup> International Conf. On Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, pp. 181 - 188, 1998
2. C. M. Wang, G. H. Nickodemus, T. P. Creeden, "Determining Optimal Semi-Solid forming Process Parameters by Simulation" 5<sup>th</sup> International Conf. On Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, pp. 327 - 334, 1998.
3. O. Hervieu and J. Coltt, "Die-casting of light metal in the semi-solid state : Study of the PID process" 4<sup>th</sup> International Conf. On Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, pp 283 - 289, 1996
4. M. Garat, "Aluminum Semi-Solid Processing : From the Billet to the Finished Part" 5<sup>th</sup> International Conf. On Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, pp xvi - xxxi, 1998
5. K. P. Young, Ballwin Mo., "Process for preparing a slurry structured metal composition." United State Patent, No. 4,565,241
6. S. P. Midson, R. B. Minkler, J. G. Brucher "Gating of Semi-Solid Aluminum Castings" 6<sup>th</sup> International Conf. On Semi-Solid Processing of Alloys and Composites. pp 67 - 72, 2000
7. G. K. Sigworth, "Rheological properties of semisolid metals", personal communication
8. T. C. Papanastasiou, "Flow of materials with yield", Journal of Rheology, 31, pp.385-404, 1987