

자동차용 모터하우징에 관한 다이캐스팅 성형해석

문찬용*(부경대 대학원 정밀기계공학과), 박종배(부경대 대학원 정밀기계공학과), 정원영(삼영MT), 한규택(부경대 기계공학부), 정영득(부경대 기계공학부)

Die Casting Analysis of Motor Housing for Automobile

C. Y. Moon*, J. B. Park(Precision Mech. Eng. Dept. Graduate School, PKNU), W. Y. Jeong(SAMYOUNG MT), K. T. Han, Y. D. Jeong(School of Mech. Eng., PKNU)

ABSTRACT

The die casting process was used to manufacture a motor housing for automobile. Specially automobile parts were required light and high strength. Therefore simulations have been carried out die casting process of motor housing.

In this paper, we investigated about characteristics of the die casted motor housing with HPDC(High Pressure Die Casting) process. Also the MAGMAsoft was used as computer simulation code and used material was ADC12(Aluminum Die Casting Alloy). We present the results of filling behavior and solidification process of a motor housing cast. The analysis results obtained about filling behavior and solidification of cast showed good agreement with test results.

Key Words : Die casting(다이캐스팅), Motor housing(모터 하우징), Filling behavior(충진거동), Solidification(응고), ADC12(Aluminum Die Casting Alloy), HPDC(High Pressure Die Casting)

1. 서론

최근 자동차의 경량화와 고성능화의 요구가 높아지면서, 경량화는 연비 및 주행성능의 관점에서 대단히 중요한 기술과제이다.¹⁾ 따라서 알루미늄, 마그네슘, 티타늄 합금등의 경량소재에 대한 기대는 더욱더 높아지고 있다.

경량소재를 유용한 형상으로 만드는 방법에는 여러 가지가 있는데, 용융금속을 고속 및 고압의 사출 조건으로 금형의 캐비티(Cavity)에 주입하여 성형하는 다이캐스팅(Die casting) 성형법은 그 중 좋은 한 방법으로, 일반적으로 복잡한 제품형상이나 고정도의 표면이 뛰어난 제품 및 단시간에 대량생산하는데 적합한 성형공정이다.

다이캐스팅 공정은 크게 충전과정(Filling process)과 응고과정(Solidification process)으로 구분되며, 성형중에 발생하는 결함은 충전과정에서의 공기 및 개재물 혼입이나 미세한 기공(Blow hole, Pin hole)과 같은 유동결함과 응고과정중 발생하는 수축

공(Shrinkage void)결함 등이 다이캐스팅의 지속적인 문제점으로 되어왔다. 또한 다이캐스팅은 주조 공정을 거치는 동안 일련의 복잡한 온도변화를 가지는 공정이며, 용탕은 높은 온도의 유체로, 온도변화의 과정을 겪으며 단축된 금형캐비티 내에서 이루어지는 공정이기때문에 공정해석에 있어서 실험에 의한 연구는 한계를 가질 수밖에 없었다.²⁾ 그러나 전산해석의 발달과 함께 다이캐스팅 공정에 대한 해석연구가 활발히 이루어지면서 전산해석에 의한 기존의 금형의 정밀제작 및 주조기술의 미흡으로 인한 제품과 금형의 결함을 예측 및 방지하기 위한 연구가 가능하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 자동차용 모터하우징(Motor housing)을 대상으로 무가공 정밀다이캐스팅 금형을 개발하기 위한 전단계로 전산해석을 통한 충전 및 응고과정을 예측하여 금형설계 및 공정설계에 반영하였다.

전산해석을 위해 사용한 범용 해석 소프트웨어는 독일 MAGMA사가 개발한 MAGMAsoft로써, 주조전용 시뮬레이션 소프트웨어이다.

2. 해석방법

2.1 지배방정식

주조전용 상용 소프트웨어에 의한 충전 및 응고 해석에 이용되어진 지배방정식에서 유체의 흐름과 열전달 현상은 질량, 운동량, 에너지 보존의 법칙으로 표현되며, 3차원 비압축성 유체의 유동 및 응고해석에 사용된 지배방정식은 연속방정식, Navier-stokes 방정식, 에너지 방정식, Volume of Fluid로서 식(1)~(4)에 나타내었고, 식(5)에 충전 해석에 이용되어진 유한 차분식(FDE, Finite Differential Equation)을 나타내었다.³⁾

◎ 연속방정식(Continuity equation)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

◎ Navier-stokes 방정식(Navier-stokes equation)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} + \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \nabla^2 u + g_x$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial ww}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} + \frac{\partial P}{\partial w} + \nu \nabla^2 w + g_z$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial ww}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} + \frac{\partial P}{\partial w} + \nu \nabla^2 w + g_z \quad (2)$$

◎ 에너지 방정식(Energy equation)

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (K \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K \frac{\partial T}{\partial z}) \quad (3)$$

◎ Volume of Fluid

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \frac{\partial uF}{\partial x} + \frac{\partial vF}{\partial y} + \frac{\partial wF}{\partial z} \quad (4)$$

◎ Governing Differential Equation(FDE)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi \quad (5)$$

여기서, u, v, w; x, y, z 는 방향속도, ν는 동점

성계수(kinematic viscosity), ρ는 유체의 밀도, g 는 중력가속도, P는 압력, 그리고 F는 유체부피분율을 나타낸다.

2.2 모델링 및 전처리

Fig. 1은 알루미늄 모터하우징의 형상 모델링을 나타낸 것으로, 범용 CAD 소프트웨어인 Unigraphics를 이용하여 주조전용 상용 소프트웨어인 MAGMAsoft에서의 형상 인식을 위한 STL파일 형식으로 변환하여 나타내었다.

여기서, A는 Inlet으로서 41181.65mm³의 체적을 가지며, B는 Gate로 체적은 179335.9mm³, C는 Ingate로 300.7931mm³의 체적을 가지고, D는 Cast로서 105311.3mm³의 체적을 가진다. 그리고, E와 F는 Overflow 1과 2이며 각각 171.49, 3887.85mm³의 체적을 가진다. 성형부인 모터하우징은 내경 ø 100 기준으로 최대 진원도 0.1 이내의 평균 두께 2.5~3.5mm인 치수 정밀도를 가진 형상 모델이다.

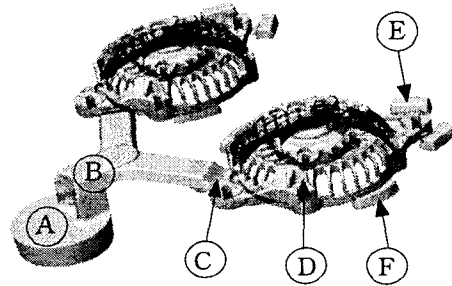


Fig. 1 3D Solid model of motor housing

2.3 해석조건의 입력

해석의 대상품인 모터하우징의 재질은 ADC12종이며, 해석에 이용된 물성치 및 화학조성표는 Table 1과 2에 나타나 있다. 금형의 재질은 STD61로 하였으며, 냉각채널에 적용된 냉매는 물을 사용하였다.

금형이 체결된 후 용탕이 주입되며, 용탕의 충전 완료후 주물의 강도 및 수축공의 제거를 위해 응고과정중 보압을 가한다. 주물의 응고완료후 금형이 열리면서 제품이 취출되며, 금형표면에 대한 spray 작업후 다시 금형이 체결되어 다음 cycle이 진행된다.

Table 1 Physical properties of ADC12

Properties	Unit	Value
Initial Temp.	℃	660
Latent Heat	KJ/kg	514.2
T _{liq}	℃	614
T _{sol}	℃	555

Table 2 Chemical composition of ADC12 alloy

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
3.06	11.52	0.25	0.76	0.88	0.43	0.33	0.15	rem.

3. 결과 및 고찰

3.1 충전해석

용탕의 전체적인 충전거동을 Fig. 2에 나타내었다. 제품의 디자인 단계부터 성형성을 고려한 2.5~3.5mm의 균일한 두께 설계로 충전패턴이 일정한 흐름으로 충전됨을 알 수 있으며, Fig. 3에서와 같이 충전중의 용탕온도가 액상선($T_{liq}=614^{\circ}\text{C}$) 이하로 떨어지지 않는 양호한 충전거동을 나타내었다.

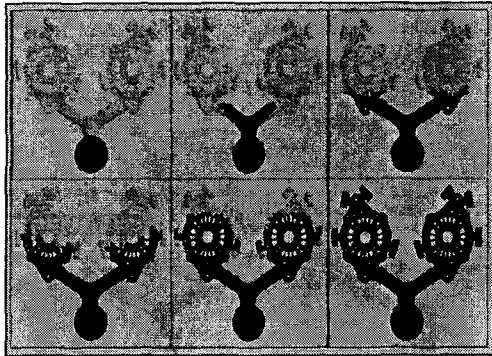


Fig. 2 Filling behavior of motor housing

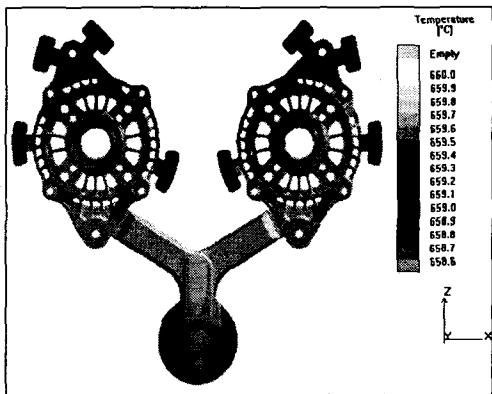


Fig. 3 Temp. distribution of motor housing

Fig. 4는 인게이트가 충전된 직후 약 50%가 충전된 시점을 나타내는 것으로, 표기된 A부분에서 용융선단이 인게이트부근에서 충돌하여 와류가 발생하며, 이로 인한 결함의 발생가능성이 높은 부분이 발

생하였다. 이는 용탕의 흐름이 후속부인 A부분에서 휘돌아가면서 흐르기때문이라 판단된다. 그 결과 용탕의 유동성과 인게이트에서의 사출압력이 저하되며, 제품의 품질과 금형 모두에 중요한 요인인 용탕의 유동속도가 느려져서 열손실로 인한 콜드샷(Cold shut)⁴⁾의 유발과 공기를 혼입하여 생기는 Air porosity 결함이 예상되어지며, 이의 방지를 위해서는 금형의 파팅라인 이동과 오버플로우를 용탕의 흐름이 어려울 것으로 예상되는 A부위에 첨가해야 할 것으로 사료되어졌다. 이것을 토대로 금형을 수정한 결과, 양호한 성형성을 얻을 수 있었다.

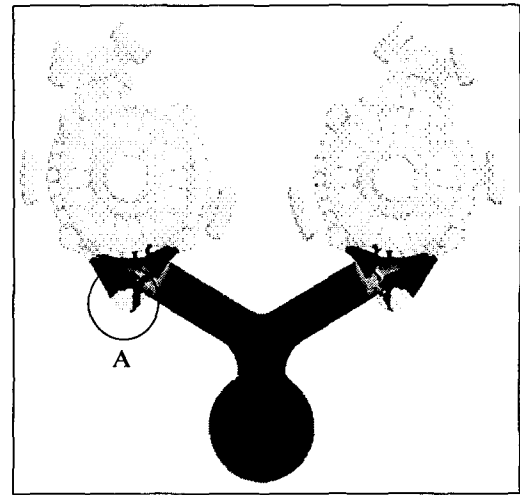


Fig. 4 Filling behavior of motor housing (50%)

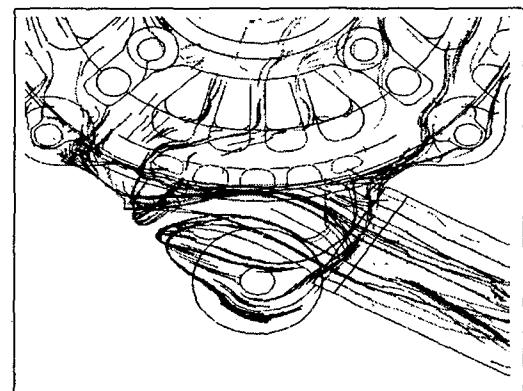


Fig. 5 Magnification diagram of Fig. 4 - "A"

주형내의 충전 거동을 비교, 검증하기 위하여 다이캐스팅 머신(TOSHIBA 350ton)으로 플런저를 전진시켜 충전을 진행하여 유동 해석결과와 비교한 결과

55%, 75%의 해석결과와 잘 일치하였다. 이 충전거동의 비교, 검증은 다이캐스팅 머신 특성상 고속 사출 속도에서 급속한 정지조작이 사실상 불가능하여 실제 사출속도보다 저속의 사출조건을 적용하여 성형하였는데, 실제 사출조건이 달라짐에도 불구하고, 충전율에 따른 충전거동이 해석결과와 유사하게 나타남을 알 수 있었다. 이것은 다이캐스팅공정시 충전 패턴은 플런저의 사출조건보다는 제품이나 금형의 캐비티 형상 또는 게이팅 시스템의 형상과 위치에 영향을 더 많이 받는 것으로 판단되었다.

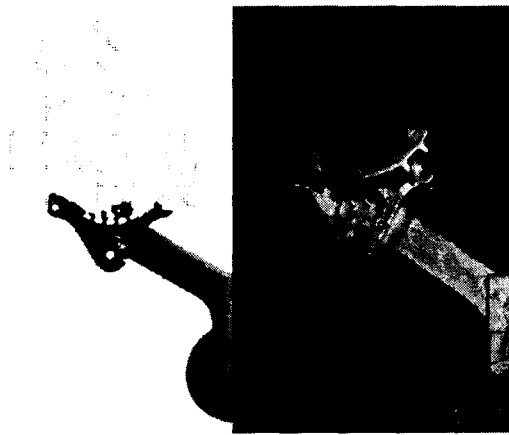


Fig. 6 Comparison of simulation and cast at 55% filled state

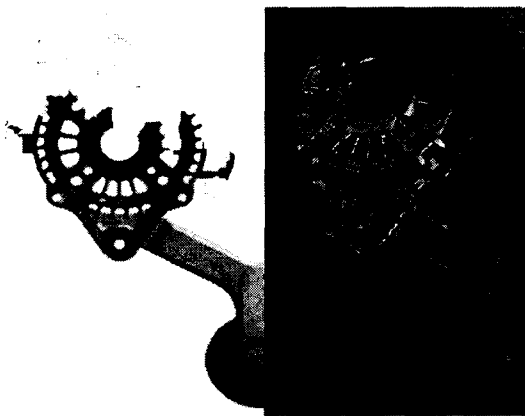


Fig. 7 Comparison of simulation and cast at 75% filled state

3.2 응고해석

Fig. 8은 ADC12 합금의 고상온도($T_{so1}=555^{\circ}\text{C}$)를 기준으로 제품의 부위별 응고 진행과정을 시뮬레이션한 결과이다. Fig. 8과 같이 충전이 완료된 이후 박육부인 외각으로부터 응고가 시작되어 후육부인 나

머지 부분으로 응고가 진행되는 일반적인 양상을 보였다.

Fig. 9에서 알 수 있듯이 양쪽 인게이트의 응고가 진행되어 약 11.0초 경과 후 양쪽 인게이트부의 응고가 완료되었으며, 응고시 가압 유지시간의 측면에서 볼 때 약 11.0초에 각 인게이트부의 응고가 완료됨에 따라 이후 캐비티내에 전달하고자 하는 가압력은 불필요하다고 판단된다. 따라서 해석결과와 인게이트 응고시간을 고려하여 가압시간을 설정함으로써 최적의 주조 공정조건에 의한 양질의 균일한 양산제품을 기대할 수 있을 것이다.

Table 3에 응고 시간별로 제품부의 응고율을 나타내었다. 모터 하우징 제품이 완전하게 응고하는 시간(Solid time ; 용탕이 고상선에 도달할 때까지의 시간)은 14.5초 정도로 나왔는데, 이를 기준으로 본다면 인게이트 응고시간이 11.0초였으니, 시간차(약 3.5초)에서 오는 나머지는 Fig. 9에서 나타나는 아직 응고되지 못한 부의 후육부임을 알 수 있다.

이로써 현재의 냉각시스템으로는 박육부와 후육부의 응고 시간차에서 오는 수축결함을 완전하게 해결할 수 없다고 판단되며, 앞으로 이에 대한 연구가 좀 더 필요할 것으로 사료된다.

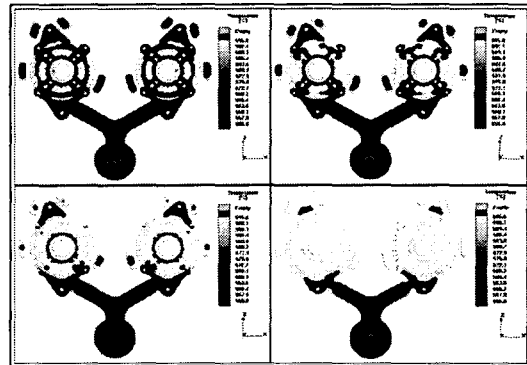


Fig. 8 Solidification behavior of motor housing

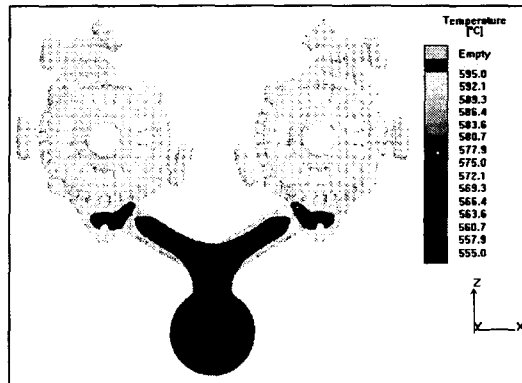


Fig. 9 Solidification behavior at 11.0 sec.

Table 3 Solidification rate according to elapsed time

Time (sec)	Solidification rate(%)	Time (sec)	Solidification rate(%)
0.848	12.4290	4.4	70.3268
1.3	20.3792	5.4	80.3427
1.8	31.2431	6.9	90.7958
2.3	40.0807	8.0	95.0147
3.0	51.6646	14.9	100.000
3.6	60.0353		

4. 결론

본 연구에서는 자동차용 모터 하우징 부품을 대상으로 HPDC(High Pressure Die Casting) 공정해석을 위하여 상용 소프트웨어를 활용하여 주조공정 해석 및 제품결함을 예측하였다. 주조전용 상용 소프트웨어인 MAGMASoft를 이용하여 유동 및 응고해석을 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전체적인 충전패턴은 일정한 흐름을 나타내었으며, 해석상에 나타난 충전 해석 결과와 플런저 전진 길이에 따른 제품의 충전패턴이 잘 일치하였다.

2) Tracer particle을 이용하여 용탕충진의 경로를 추적한 결과 와류에 의한 충전 및 강도저하의 결함 발생 가능성을 예측하고, 개선된 주조 방안을 설계하여 주조결함이 발생하지 않는 건전한 주조품을 생산하였다.

3) 인게이트의 응고 완료시간이 약 11.0초 정도이므로 실제 제품 성형시 양산성의 증대를 위하여 적합한 가압 유지 조건을 선정할 수 있었다.

4) 인게이트 응고 완료시간까지 응고되지 않은 일부 후육부에 의한 수축결함은 현재의 냉각시스템으로는 해결할 수 없으므로, 이에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 2001년도 중소기업기술혁신개발사업에 참여한 (주)삼영MT의 위탁연구에 의해 수행된 것이며, 부경대학교 기계공학부 BK21사업단 및 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 추인호, 류성곤, "자동차 Al Wheel의 제조에 있

어서 유동 및 응고해석의 적용" Bull. I.I.S., Vol. 22-1, pp. 221-228, 1999.

2. 공성락, "특수 다이캐스팅을 이용한 자동차 부품의 제조공정 설계 및 해석" 부산대학교 학위논문집, 2001.

3. 이동훈, 강충길, 이석규, "유동 및 응고해석에 의한 자동차 부품의 제품결함 예측" Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 20, pp. 9-16, 2000.

4. 박삼수, "DIE CAST 현장기술" 대신기술, 1984.

5. SEROPE KALPAKJIAN, "Manufacturing engineering and technology" Addison-Wesley Publishing Company, 1995.

6. 이종남, "특수주조공학" 보성문화사, 1986.

7. Jun-Su Kim, Tae-Won Lim, "Novel Techniques of High Pressure Die Casting" 한국주조공학회, 제18권, 제3호, pp.228-233, 1998.

8. K. Y. Kim, "Recent Trends on the Application of Computer to Solidification Processing" 한국주조공학회, 제11권, 제4호, pp.276-282.