

MAGMASoft를 이용한 Aircon Compressor Front Housing의 다이캐스팅 주조공정설계

공성락* · 박진영** · 김역수** · 문영훈*

(2000년 3월 31일 접수)

Die Casting Process Design for Front Housing of Aircon Compressor by Using MAGMASoft

S. R. Gong, J. Y. Park, E. S. Kim and Y. H. Moon

Abstract

In the die casting process, the flow of liquid metal has significant influence on the quality of casting products and die life. For the optimal process design of front housing part of aircon compressor, various analyses were performed in this study by using computer simulation code, MAGMASoft. The simulation has been focused on the molten metal behaviors during the filling and solidification stages for the sound casting products. Two cases of casting design that have different types of gating system are considered in the analysis. The potential sites where the casting defects may occur is examined by computer simulation and an improved design process is proposed. Also the effect of partial squeeze on the quality of casting products is considered and the optimal time lag after filling process is determined. For the die-stability, the effect of operational parameters such as die temperature, heat cycle and spot cooling on the die life has also been analyzed.

Key Words : Die Casting, Front Housing, MAGMASoft, Partial Squeeze, Filling, Solidification, Die Life

1. 서론

일반적으로 다이캐스팅용 금형을 설계 및 제작할 때에는 레이아웃, 주조조건, 탕구계의 설계, 금형 냉각조건, 인서트 금형, 압출장치관계, 중차관계등을 고려하면서 주

조방안을 설계하여야 하며, 따라서 다양한 주조방안만큼 주조성형시 충전(filling)과 응고(solidification)중에 발생하는 결함의 정도나 위치, 형상도 달라지게 된다. 그러므로 품질이 우수한 다이캐스팅 부품을 제조하기 위해서는 상위의 조건들을 적절히 수정 또는 변경함으로써 주조결

* 부산대학교 기계공학부/정밀정형 및 금형가공연구소
** 동남정밀(주) 기술연구소

Table 1 Mesh size

Classification	Volume of molten metal	Volume of Cavity	Mesh No. (metal cell)
Case 1	468.78cm ³	136.34cm ³	5773320 (271830)
Case 2	546.12cm ³		3340260 (142013)

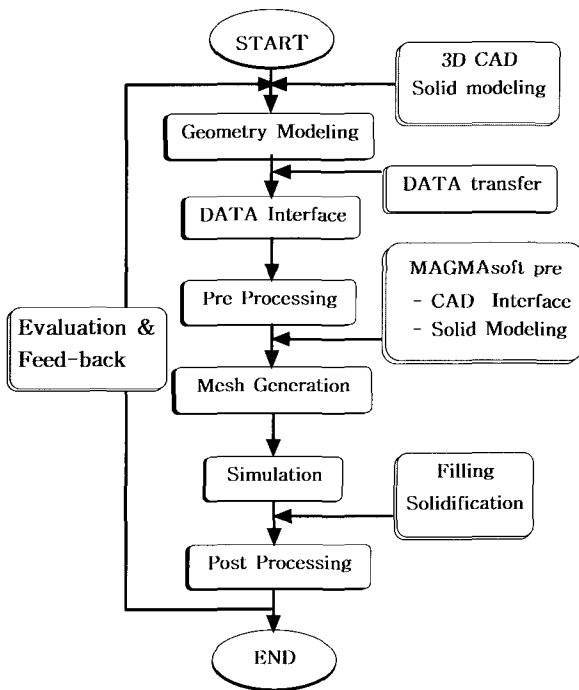


Fig. 1 Flow-chart of Die Casting Simulation

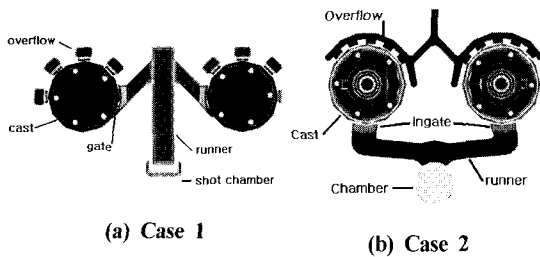


Fig. 2 Schematic drawing of Front Housing

합을 제어해야 할 필요가 있다. 그러나 실제 현장에서는 비록 수 모델이라 할지라도 이미 제작된 금형에 대해서 이를 수정, 보완하는 데에는 시간적, 경제적 효율성에 제약을 받게 된다. 이러한 시간적, 경제적 제약은 다이캐스팅산업의 기술개발에 있어 가장 큰 장애요인중의 하나라고 할 수 있다.

최근 독일의 MAGMAsoft, 미국의 ProCast, 국내의 생산기술연구소에서 개발한 EASY CAST와 같은 주조 전용 상용 프로그램들이 현장의 공정설계 및 공정개선을 위한 tool로서 활용되고 있으며, 특히, 근래에 세계적인 이슈로 대두되고 있는 환경오염문제와 자원고갈문제로 인하여 산업전반에 부품 경량화 및 작업환경개선이 요구되고 있다. 이러한 경향은 사형주조와 같은 일반 주조공정 등이 high pressure die casting (HPDC)공정으로 대체되면서 효율적인 금형 설계 및 공정설계에 전산해석 프로그램의 활용이 더욱 활발해지고 있는 실정이다. 따라서 다이캐스팅 산업에 있어, 이러한 CAD/CAE 기술은 향후 경제적이고 효율적인 제품생산을 위한 효과적인 도구로 한층 더 발전할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 현재 신냉매용 자동차 Aircon-compressor 부품인 Front Housing에 적용되는 기존방안(이하 방안1)에 대하여 주조 전용 상용 code인 MAGMAsoft를 이용하여 충전 및 응고해석을 행하고 이로써 발생하는 제품의 결함 및 결함제거가능성을 진단함으로써 개선 방안(이하 방안2)을 제안하고 최종적으로 제품의 결함제거대책과 주조방안의 최적화를 구하고자 하였다.

2. 해석방법

2.1 전산해석 과정

MAGMAsoft는 FVM계열의 수치해석 기법을 이용하여 용탕의 충전 및 응고해석과정을 수행함은 물론, 자동 요소분할과 빠른 계산시간으로 정확한 해석결과를 보여 준다. 일반적으로 MAGMAsoft의 전반적인 해석과정은 Fig. 1과 같이 크게 preprocessing, enmeshment, simulation, postprocessing의 4단계로 구분된다. MAGMAsoft에서 형상 모델링은 기타 상용 CAD 프로그램에서 생성된 solid를 STL 형식의 file로 변환하여 preprocessor에서 사용한다. 본 연구에서는 현재 양산중인 front housing 부품에 적용되는 주조방안에 대해 Fig. 2에서와 같이 Auto CAD를 이용하여 3D solid modeling을 한 후 STL file로 변환하였으며, 전처리 과정을 통해 각각 변환된 STL file로부터 cast, gate, runner, side core, 고정다이등의 material group을 형성하였고, cooling channel,

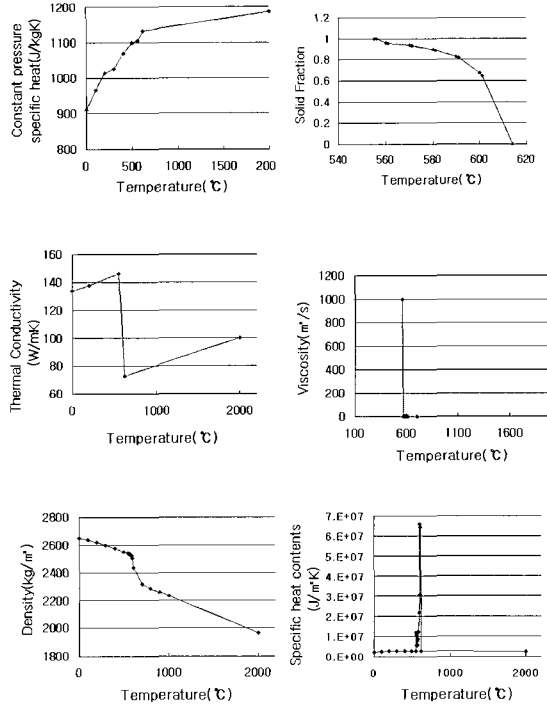


Fig. 3 Thermal Properties of ADC12

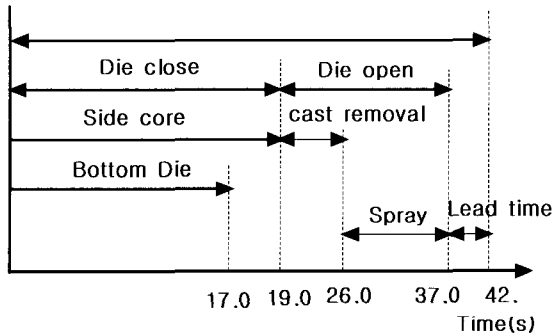


Fig. 4 Cycle-time

biscuit, 가동 다이 및 thermocouple등은 MAGMASoft의 preprocessor의 CAD틀을 사용하여 형성하였다. 요소분할(enmeshment)은 FVM(finite volume method)방식을 통한 MAGMASoft의 자동 요소분할을 실행하여 해석에 적절한 수의 요소를 생성하였다.

2.2 해석조건

Table 2 Conditions for test simulation

Classification		Condition
Material	Cavity	
	Die	Fixed die
		Moving die
		Core pin
Cooling channel	Water	
Initial temperature	Cavity	660 °C
	Die	30 °C
	Cooling channel	30 °C
Machine	Machine type	TOSHIBA 350 ton
	Length of shot chamber	600 mm
	Piston diameter	58 mm
Plunger	1st plunger speed	0.2 m/s
	2nd plunger speed	2.0 m/s

본 연구에서 주조해석에 사용된 주조조건은 Table 2와 같으며, cast, 금형 및 cooling channel의 재질은 각각 ADC12, SKD61과 water이다. 전산해석시 사용된 cast의 몇 가지 중요한 물성치를 Fig. 3에 나타내었다. 다이캐스팅 machine은 TOSHIBA 350ton으로 plunger 직경은 58mm, shot chamber의 길이는 600mm로 정의하였으며 plunger의 사출조건은 0.2m/s의 저속사출과 2.0m/s의 고속사출의 2단 사출 조건이다. 이로부터 저속과 고속사출시 용탕의 flow rate(pouring rate)를 계산하여 각각 528.4 Cm³/s 과 5284.2 Cm³/s를 구할 수 있다. 공정 cycle time은 42초이며, 각 공정단계별 소요시간은 Fig. 4에 나타내었다.

2.3 해석내용

2.3.1 runner 및 gating system(충전해석)

충전과정에서 용탕의 유동속도는 제품의 품질과 금형 모두에 매우 중요한 요인으로서 충전속도가 매우 느린 경우 높은 열손실(heat loss)과 함께 misrun과 cold shot을 유발하며, 반면 너무 빠른 용탕의 충전속도는 gating system 및 금형의 cavity부의 마모(erosion)를 촉진시키므로 적절한 용탕의 유동속도를 유지할 수 있는 runner부의 설계가 요구된다. 방안1의 runner 형상은 중앙부의 주 runner에서 양쪽으로 가지(branch)가 뻗어 나오는 형

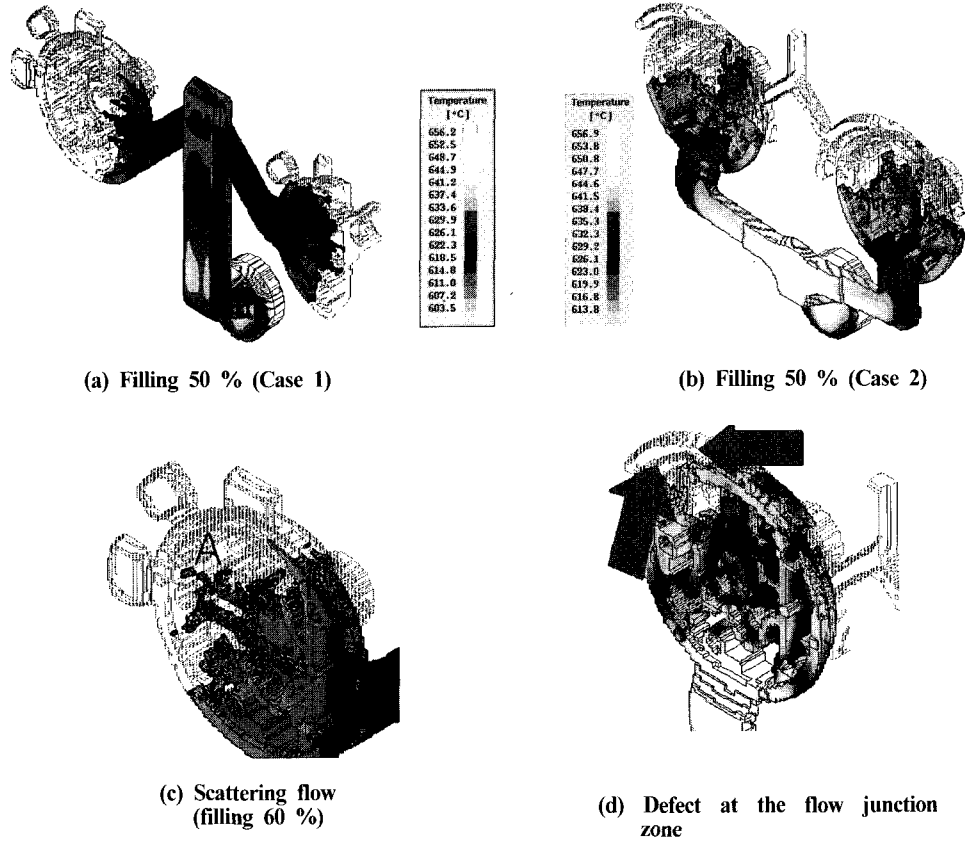


Fig. 5 Filling Simulations

상이며 그 각도는 주 runner부에서의 용탕의 진행방향에 대해 90° 이상으로 상당부분 꺾어져 있음을 볼 수 있다. 이것은 주 runner부와 branch가 이루는 각도가 클수록 유동저항이 크다는 점에서 방안1의 gating system은 유동의 압력 손실과 함께 유동속도의 저하가 발생할 가능성이 높다.⁽⁷⁾ 따라서 방안1에 대한 개선방안인 방안2에서 runner부와 gate의 위치를 Fig. 1(b)와 같이 수정 및 변경하여 유동의 열손실 및 압력손실을 줄이고자 하였다. 본 연구에서는 방안1과 방안2의 gating system의 변화에 따른 충전거동을 MAGMA의 충전해석을 통해 비교하고 그 효과를 분석하였다.

2.3.2 응고해석

방안1과 방안2에 대해 각각 10cycle 동안의 충전 및 응고해석을 수행하였다. 응고해석은 충전완료된 기준으로 응고진행률 단위로 나누어 그 결과를 비교하였으며,

수축응고결함의 발생가능성이 높을 것으로 예상되는 제품의 중심 후육부위를 가상절단하여 각 방안의 수축응고 결함발생 위치, 온도 및 냉각속도, 응고진행률등을 비교하였다.

2.3.3 금형의 열적 안정성

다이캐스팅 공정중 반복적인 온도변화는 열피로균열(thermal fatigue)을 촉진시킴으로 금형의 수명에 영향을 주는 주요인자(key factor)이다.

금형의 열적안정상태를 파악하기 위하여 제품의 표면과 인접한 가동다이측으로 약 0.5mm 지점에 가상 열전대를 설치하여 10cycle 공정동안의 금형의 온도변화를 측정하여 금형의 열적 안정성을 검토하였다.

die가 open되는 17초(고정다이)와 19초(가동다이)경과시 금형의 온도분포를 분석하고 공정중 금형의 열 특성을 고려하였다. 또한 금형의 냉각능을 향상시킬 수 있는 개

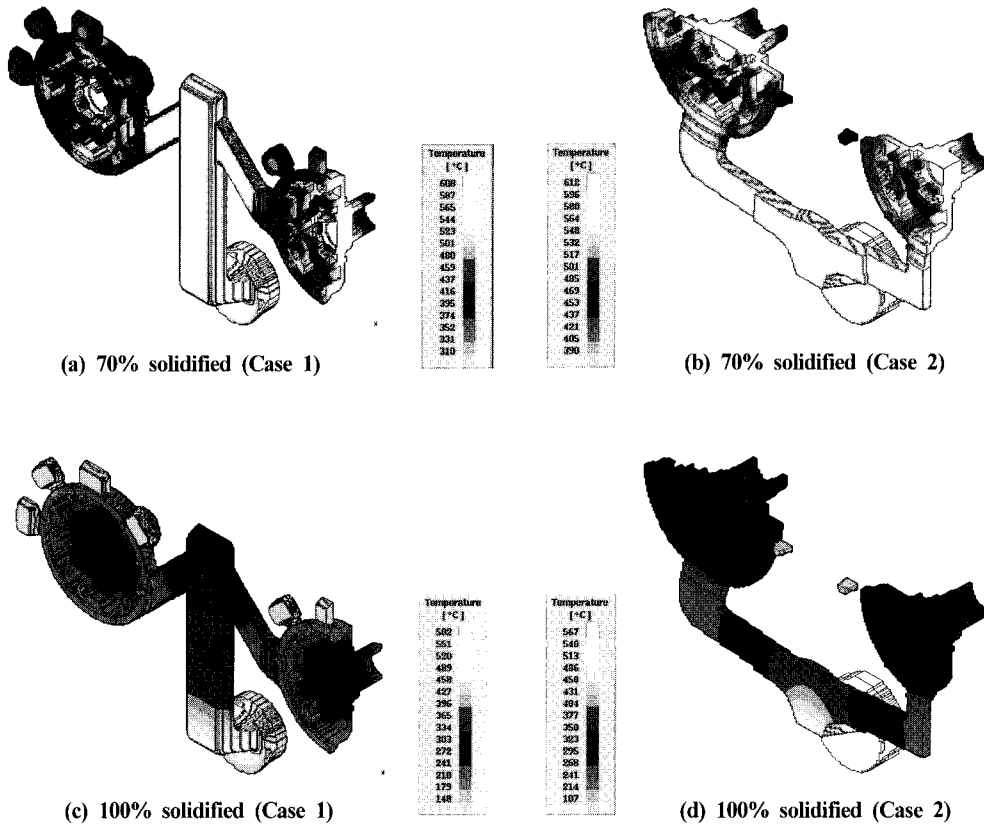


Fig. 6 Solidification Simulation

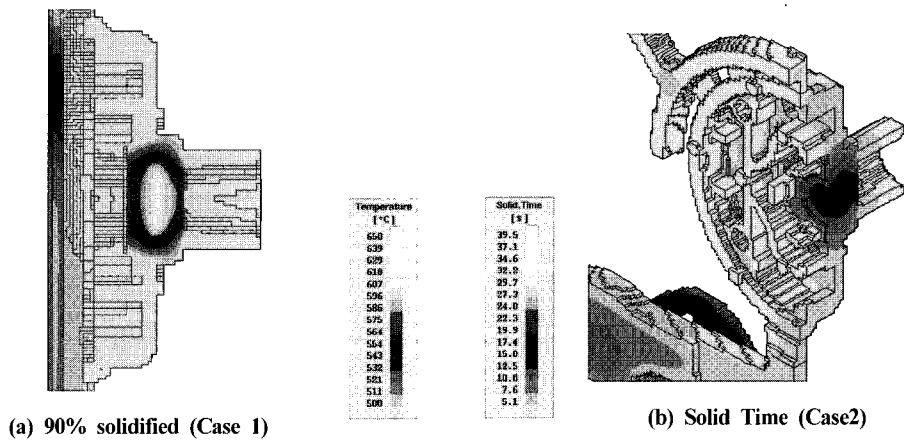
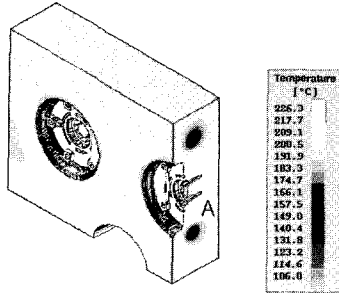
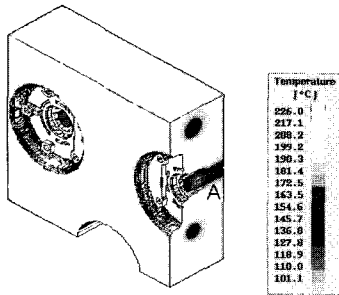


Fig. 7 Solidification-Criterion Analysis



(a) spot-cooling is not applied



(b) spot-cooling is applied

Fig. 8 Temperature distributions in the moving die and the effects of spot-cooling system to the die

선방안으로 spot cooling을 제안하여 가동다이의 제품중심부에 spot cooling을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우의 해석을 행하여 각 결과를 비교하였다.

2.3.4 국부가압력의 효과 및 가압개시시간

방안1과 방안2에 대하여 최종응고부인 제품중심 후육부의 응고거동을 통해 국부가압력의 영향을 예측하고 적절한 가압개시시간 구하고자하였다.

3. 해석결과

3.1 충전해석결과

방안 1과 방안 2의 충전해석결과로부터 용탕의 충전거동을 Fig. 5에 나타내었다. 2단 사출속도에 의해 runner부가 모두 채워지는 시점을 기준으로 저속사출에서 고속사출로의 전환이 시작된다. 즉, 방안1은 2.309초, 방안2는 2.258초에 각각 저속(0.2m/s)에서 고속(2.0m/s)으로 사출속도가 전환된다. 방안1은 2.47초에 그리고 방안2는 2.394초에 충전이 완료되었고, 충전과정에서 두 방안이

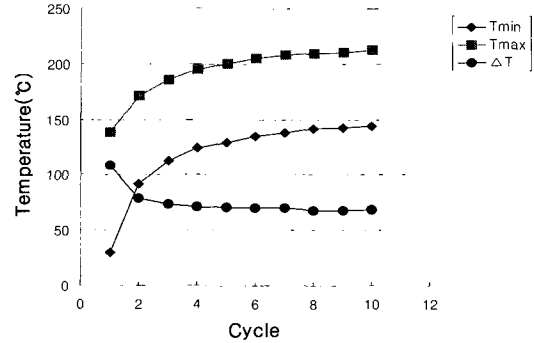


Fig. 9 Temperature Variation in the Stationary Die

모두 충전중의 용탕온도가 액상선이하로 떨어지지 않는 양호한 충전거동을 나타내었으나 방안1의 경우 Fig. 5(c)에서와 같이 용탕의 비산(scattering flow)현상을 볼 수 있으며 cavity내에서의 용탕속도도 방안2에 비해 다소 떨어졌다. 이는 Fig. 5 (c), (f)에서 보는 것과 같이 유사한 cavity충전율의 cavity내의 용탕 온도를 비교해 볼 때 방안2에 비해 약 15°C정도의 온도손실이 많으며, 그 결과 용탕의 유동성과 gate에서의 사출압력이 저하되어 용탕의 비산현상(scattering flow)을 보이는 것으로 판단된다. 방안2의 경우 약 70%충전시의 상부 오버플로우(overflow)부근에서의 용탕흐름이 서로 만나는 부분, 즉 탕회불량으로 인한 결함의 발생가능성이 높은 부분이 발생하였다. 이는 gate의 각도로 인해 용탕이 제품의 외각을 우선적으로 충전함으로써 발생하는 것으로 보인다. 그러나 방안2의 탕회불량은 방안1의 비산현상에 비해 상당부분 개선된 것이며 이 탕회불량은 gate의 외각을 더 넓혀주거나 gate부의 각도를 좀더 완만하게 보정해 주는 방법으로 용탕의 유동을 개선시킬 수 있다.

3.2 응고해석결과

(1) 응고해석

Fig. 6은 두 방안의 충전이 완료된 직후부터의 응고과정을 나타내며 치수가 얇은 외각부위에서부터 응고가 진행되어 후육부인 제품 중심부가 최종적으로 응고되는 양상을 보였다. 이 최종응고부에서는 Fig. 7(a)에서 보는 바와 같이 중심에서 등온선이 페루프를 이루며 응고가 진행되는 것을 볼 수 있었고 이로부터 최종 응고시 제품 중심의 후육부에서 수축결함이 발생할 가능성이 높은 것을 가시적으로 예측할 수 있었다.

Fig. 7(b)는 방안2에 대한 제품의 부위별 응고시간(Solid

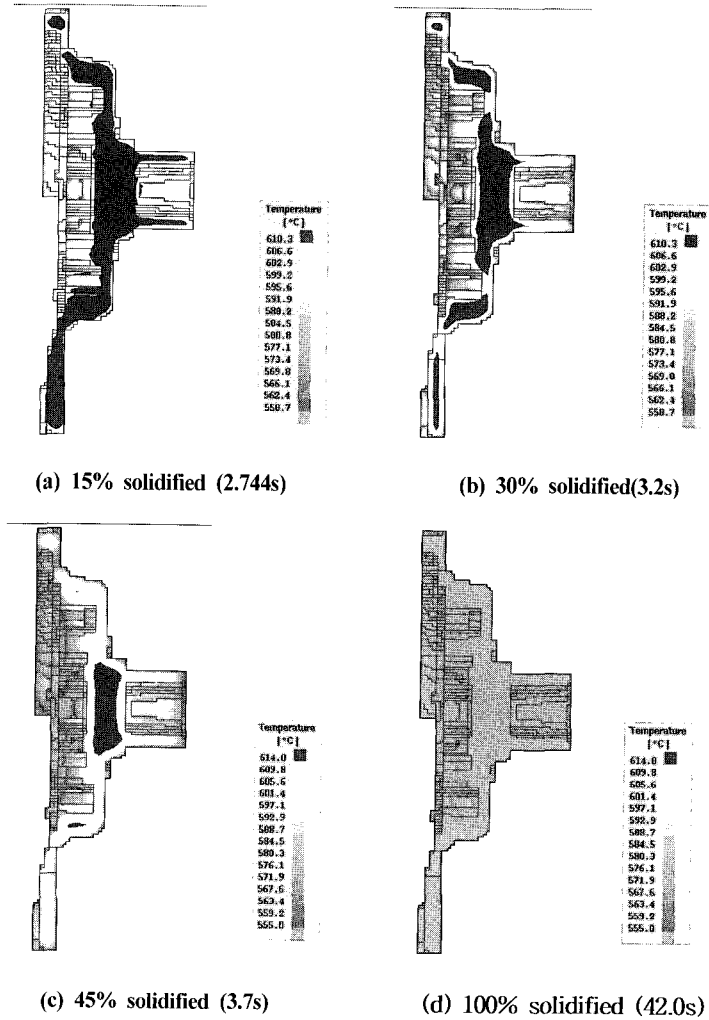


Fig. 10 Estimated Squeeze Time

time : 용탕이 고상선에 도달할 때까지의 시간을 나타내며, 방안1의 경우 양쪽 gate부의 응고시간이 약 4초 정도였으며 방안2는 약 5.6초경과 후 양쪽 gate부의 응고가 완료되었다. 따라서 응고시 가압 유지시간의 측면에서 볼 때 방안1은 약 4초, 방안2의 경우는 약 5.6초로 각 gate부의 응고가 완료됨에 따라 이후 cavity내에 전달하고자 하는 가압력은 불필요하다고 판단된다.

(2) 국부냉각(spot cooling)의 효과

Fig. 8은 방안2에 대하여 가동 다이측에 spot cooling을 설치하지 않은 경우와 spot cooling을 설치한 경우의 가동다이의 온도분포를 비교한 것이다. Fig. 8(a)와 (b)에서 A부분을 비교해 보면 spot cooling을 설치한 경우

A부분의 온도가 spot cooling을 설치하지 않았을 때보다 약 60~70℃정도 낮았으며, 가동 다이측에 spot cooling을 설치한 것이 금형의 냉각능을 향상시키는 것을 알 수 있었다. 그러나 spot cooling이 제품의 온도변화에 미친 영향은 거의 없었다.

(3) 금형의 온도분포

die open 및 spray공정시 고정 다이측의 온도분포는 최대온도가 약 350~400℃정도로 두 방안이 비교적 안정적인 결과를 보여주었다. Fig. 9는 제품중심부의 표면으로부터 고정다이측으로 0.5mm 떨어진 부위에 가상 열전대를 설치한 후 10cycle의 공정을 거치는 동안의 결과로부터 열전대의 변화를 나타낸 것으로 1cycle과 7cycle을

비교해 보면 온도변화에 뚜렷한 차이가 났으며, 7 cycle 이후 일정한 온도를 유지하였으며 최고온도와 최저온도와의 차이를 나타내는 ΔT 도 유사한 양상을 보이는 것으로 볼 때, 금형은 7cycle 이후 열적 안정화에 도달하며 만일 금형의 예열이 없는 경우 약 7회정도의 사탕(cold shot)작업이 필요하리라 판단된다.

(4) 국부가압효과 및 가압 개시 시간

Fig. 10은 제품중심부의 온도분포를 액상선(614°C)과 고상선(555°C)사이의 온도구간(13구간)으로 나누어서 보여주는 것으로 Fig. 10(b)를 보면 충전완료 후 약 0.8초 전까지 제품의 중심부와 gate 부위까지 액상선 이상을 유지하고 있음을 알 수 있다. 즉, 이것은 충전완료후 0.8초이내에 제품에 국부가압을 하는 경우 응고층의 변형저항력보다 가압력이 상대적으로 높아 가압전 제품 중심부의 응고결함부위가 다른 부위로 이동할 수 있음을 말한다. 따라서 본 제품의 경우 수축결함부위에 대한 국부가압시 결함감소 효과를 기대할 수 있으며 가압 개시 시간은 충전 완료이후 약 0.8초~1초 이후가 적절할 것으로 판단된다.

4. 결론

현재 양산중인 Aircon Compressor Front Housing 부품을 대상으로 두 가지 구조방안에 대해 시뮬레이션을 실행한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- (1) 충전해석 결과 충전중 탕회불량 등으로 인한 결함 발생 가능성을 전산해석을 통해 예측하고 개선된 구조방안을 설계하였다.
- (2) 응고해석을 수행한 결과 응고결함의 발생위치를 정확히 알 수 있었으며, 국부가압을 사용한 공정으로 수축결함의 제어가 가능함을 알 수 있었다.
- (3) 금형의 열적 안정은 가상 열전대를 이용한 해석결과로부터 7cycle이후에 안정상태로 접근하는 것으로 볼 때 금형의 예열이 없을 경우에는 약 7회의 사탕(cold shot)작업이 필요할 것이라 판단된다.
- (4) 본 제품의 경우 spot cooling을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우의 금형의 냉각능을 비교해 본 결과 설치한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 금형의 냉각능이 상당히 향상되었다. 그러나 제품의 응고거동에 미치는 영향은 거의 없었다.
- (5) 구조 전용 상용 code를 사용하여 다이캐스팅 제품

을 전산해석을 통해 충전 및 응고거동을 살피고 결함 예측 및 결함제어가 가능함을 보여주었다.

후 기

본 연구는 동남정밀(주)과 부산대학교 정밀정형 및 금형 가공 연구센터를 통한 한국생산기술연구원의 청정생산기술과제 지원금에 의한 것입니다.

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, P5.
- (2) 김억수, 김용현, 이광학, 김홍식, 1995, "스퀴즈 병용 다이캐스팅법에 의한 Al-12%Si 합금의 결함제어에 관한 연구", 주조 제15권 제4호 p377.
- (3) Nahed A. El-Mahallawy, Mohamed A. Taha, Engenius Pokora and Friedrich Klein, 1998, "On the influence of process variables on the thermal conditions and properties of high pressure die-cast magnesium alloys", J. of Mat. Science and Tech. Vol.73 p.125
- (4) Jing Tao, Anzai Koichi and Niyama Eisuke, 1996 "Die Life Prediction In The Die Casting Cycle Simulation", Proceedings of the 3rd Pacific Rim International Conference on Modeling of Casting and Solidification Processes.
- (5) Zhang Weishan, Xiong Shoumei and Liu Baicheng, 1997, "Study on a CAD/CAE System of Die Casting", J. of Mat. Science and Tech. Vol.63 p.707
- (6) 이재경, 최정길, 홍준표, 1998, "유동한계 고상율법을 이용한 수축공 생성의 수치해석", 주조 제18권 제6호 p.555.
- (7) Shamsuddin Sulaiman and Tham Chee Keen, 1997, "Flow Analysis along the Runner and Gating System of a Casting Process", J. of Mat. Science and Tech. Vol.63 p.690
- (8) MAGMA Gißereitechnologie GmbH, 1997, "MAGMASOFT User's Tutorial Manual".