

工學碩士 學位論文

컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 자동차용 알터네이터
하우징의 성형공정 해석 및 금형설계

Computer Simulation and Die Design of Alternator
Housing for Automobile

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



釜慶大學校 産業大學院

精密機械工學科

朴 鍾 培

朴鍾培의 工學碩士 學位論文을 認准함

2002年 6月

主 審 工學博士 吳 明 錫



委 員 工學博士 鄭 英 得



委 員 工學博士 韓 圭 澤



목 차

1. 서론	1
2. 금형설계	4
2.1 다이캐스팅 금형	4
2.1.1 다이캐스팅 금형의 구조	4
2.1.2 다이캐스팅기의 선정	6
2.1.3 충전시간	8
2.2 알터네이터 하우징	9
2.3 알터네이터 하우징 성형용 금형설계	11
3. 성형해석	16
3.1 해석과정	16
3.2 지배방정식	18
3.3 형상정보	20
3.4 해석조건	22
3.5 충전해석	26
3.6 응고해석	28
4. 결과 및 고찰	29
4.1 충전해석결과	29
4.2 응고해석결과	45

5. 결론	55
-------	----

참고문헌	56
------	----

Abstract	60
----------	----

감사의 글

1. 서론

경량소재를 유용한 형상으로 만드는 방법에는 여러 가지가 있는데, 알루미늄(Al)이나 마그네슘(Mg)¹⁾, 티타늄(Ti) 합금과 같은 용융금속을 고속 및 고압의 사출조건으로 금형의 캐비티(cavity)에 주입하여 성형하는 다이캐스팅(die casting) 성형법은 그 중 좋은 한 방법으로, 일반적으로 복잡한 제품형상이나 고정도의 표면이 뛰어난 제품 및 단시간에 제품을 대량생산하는 데 적합한 성형공정이다. 이러한 다이캐스팅법은 1838년 미국인 Bruce에 의하여 활자주조용으로 발명된 것이 최초이며 그 후 Sturges, Dusenbury에 의하여 개량되어졌다.^{2)~3)} 1907년에는 Zn이 소재로 사용되었고 1915년에 미국의 Doehler사가 처음으로 알루미늄합금의 다이캐스팅을 상업적으로 성공하였으며 당시의 주조기는 직접 공기압으로 용탕을 가압하는 방식이었다. 이 후 가압방식은 수압식, 유압식으로 발전하여 오늘날에 이르고 있으며^{4)~5)} 최근에는 자동차산업 중심으로 항공기부품, 건축용품, 가전제품, OA기기 등의 구조부품 뿐만 아니라 산업전반에 걸쳐 각종 정밀부품의 경량화와 고성능화의 요구가 많아지면서 경량소재를 이용한 다이캐스팅 성형법에 대한 기대가 높고 연구활동도 활발히 이루어지고 있다.

다이캐스팅과 같은 주조공정에 있어서 건전한 주조품을 얻기 위해서는 적절한 탕구, 탕도 및 압탕방안의 설계를 통하여 주조시 수반되는 여러 가지 주조결함들을 제어해 주어야 한다. 다이캐스팅 공정은 크게 충전과정(filling process)과 응고과정(solidification process)으로 구분되는데 충전과정중에 발생하는 결함은 금형 공간 내의 가스가 용탕 충전 시에 방출되지 않고, 캐비티 내에 남아서 다이캐스팅법의 최대 결함인 기포결함의 원인이 되며, 이러한 가스는 미세한 기공(blow hole, pin hole)으로 존재하여 표면가공을 요하

는 부품의 경우에는 불량률의 증가와 열처리가 어려워 지는 결함 및 개재물 혼입과 같은 결함이 있다. 응고과정중 발생하는 결함은 충전응고중 캐비티(cavity)부위보다 탕도부가 먼저 응고하므로써 최종응고부의 수축분에 대한 용탕보충이 어렵기 때문에 발생하는 수축공(shrinkage void)결함이 있으며 이들 결함은 다이캐스팅의 지속적인 문제점으로 되어왔다.⁶⁾⁻⁸⁾ 또한 다이캐스팅은 주조공정을 거치는 동안 일련의 복잡한 온도변화를 가지는 공정이며, 용탕은 높은 온도의 유체로, 온도변화의 과정을 겪으며 단형진 금형캐비티 내에서 이루어지는 공정이기때 공정해석에 있어서 실험에 의한 연구는 한계를 가질 수밖에 없었다. 그러나 최근 컴퓨터의 발전과 더불어 급속하게 증가하고 있는 추세인 CAE(computer aided engineering)는 양산중인 제품의 결함예측 및 금형수정에의 활용이나 제품생산 이전의 설계단계에서 충전이나 응고해석을 수행하여 사전에 제품의 품질을 평가하며 적절한 금형설계 방안을 확립할 수 있도록 하는 기술이다.⁹⁾⁻¹⁴⁾ 이에 다이캐스팅 공정에 대한 해석연구가 이루어지면서 전산해석에 의해서 기존 금형의 정밀제작 및 주조기술의 미흡으로 인한 제품과 금형의 결함을 예측하고 방지하기 위한 연구가 활발하며 현장기술을 접목한 새로운 기술들이 국내외적으로 그 이용이 급속하게 증가하고 있는 추세이다.¹⁵⁾⁻²⁵⁾ 현재 대표적으로 이용되고 있는 상용 소프트웨어로서는 유한차분법(finite difference method)을 이용한 독일의 MAGMASoft, 일본의 STEFAN, SOLAN, SOLDIA, HICASS, aFLOW, 국내의 생산기술연구원에서 개발한 EASY CAST 등이 있고, 유한요소법(finite element method)을 이용한 것으로서는 일본의 CASTEM, CAST, METALFIL, 미국의 proCAST 등이 있다.²⁶⁾

본 연구에서는 자동차용 알터네이터 하우징(alternator housing)을 대상으로 무가공 정밀다이캐스팅 금형을 개발하기 위한 전단계로 전산

해석을 통하여 주조공정 상에 발생하는 충전 및 응고과정을 정확히 예측함으로서 주조결함의 문제점을 미연에 방지하여 생산비 절감과 건전한 주조방안을 수립하여 주조공정설계에 활용코저 한다. 현재 다이캐스팅 공정으로 양산중인 알티네이터 하우징을 주조전용 시뮬레이션 소프트웨어인 MAGMAsoft를 이용하여 용탕충전과 응고해석을 수행하여 충전 해석결과와 실제제품의 충전거동을 비교하였으며, 충전과 응고해석에 의해 예측되는 결함을 검토하였다. 그리고 성형해석에 기초한 데이터를 이용한 적절한 파팅라인(parting line)과 냉각시스템(cooling system) 및 오버플로우(overflow) 설정을 통하여 최적의 금형설계 및 공정설계를 검토하였다.

이와 같이 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 실제 현상에서는 파악하기 곤란한 현상을 실제 제품과 비교 및 검토함으로서 해석의 정확성과 신뢰성(reliability)을 평가하여 앞으로 다이캐스팅 제품의 제조시 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 다이캐스팅 공정설계의 최적화로 제품의 품질 및 생산성 향상에 기여코저 하는 것에 본 연구의 목적이 있다.

2. 금형설계

2.1 다이캐스팅 금형

2.1.1 다이캐스팅 금형의 구조

일반적으로 적용되고 있는 다이캐스팅 금형의 구조를 개략적으로 Fig. 1에 나타내었으며 성형부 중심으로 주요부위의 구성요소를 보면 주입구(inlet), 게이트부(gate), 인게이트(ingate), 제품부(cast), 오버플로우(overflow), 그리고 에어벤트(air vent)로 구성되며 구체적인 형상정보는 3.3절과 Fig. 6과 같다. 다음은 각 주요부에 대한 기능을 설명한 것이다.

- 1) 주입구(inlet) : 용탕이 금형내에 100% 충전이 이루어 질 때까지 공급되는 가상의 용탕주입구를 말하며, 충전과정중에는 초기 용탕의 설정온도를 유지한다.
- 2) 게이트부(gate) : 협의로 러너(runner) 또는 오버플로우(overflow)와 제품부가 접하는 최소단면을 지나는 부위로서, 광의로는 게이트(gate)방안에 포함되는 러너, 피드(feed), 랜드(land), 그리고 협의의 게이트 등을 포괄하고 있다.
- 3) 인게이트(ingate) : 협의의 게이트부로서, 러너와 제품부가 접하는 최소단면적을 갖는 부위이다. 인게이트 면적을 구하는 식은 전부터 많이 보고되고 있다. 게이트 면적은 주입 충전시간이나 주입속도와도 관련되기 때문에 이론적으로 이들과 관련된 계산식에 의해 구해야만 한다. 그리고 인게이트 속도는 용탕이 게이트에서 분출하는 속도를 말하며, 충전시간에 따라 결정하고, 일반적으로 그 속도는 20m/s ~ 60m/s 정도이다. 대형 주물일수록 속도는 늦어진다.
- 4) 오버플로우(overflow) : 슬리브나 캐비티 중의 공기 및 가스의 제거, 캐비티 주변의 용탕의 압력 조절, 캐비티 각부의 온도 조절, 냉각시 오염된 초

기 용탕의 저장 등의 역할을 하며 오버플로우의 위치 설정의 원칙은 용탕의 흐름이 어려운 곳, 용탕의 합류점, 금형온도가 통상 낮은 곳으로 정한다. 그리고 오버플로우의 형상은 일반적으로 캐비티 체적, 제품두께, 충전길이, 제품품질조건에 의하여 결정되며 크기는 적어도 캐비티 체적의 20% ~ 50%가 필요하다. 또한 오버플로우의 탕구단면적은 탕구단면적의 50% ~ 70%가 필요하다.

5) 에어벤트(air vent) : 금형에 용탕이 압입될 때, 캐비티내의 가스를 적당하게 빼내도록 분할면에 붙인 좁은 가스통로를 말하며 에어벤트의 위치 설정은 캐비티로의 탕흐름이 최후에 충전되는 곳, 기공(porosity)이 나타나기 쉬운 곳, 압입된 용탕이 직접 닿지 않는 위치, 탕구로부터 떨어져 있는 곳으로 정한다. 에어벤트의 형상은 다이캐스팅이 고속, 고압으로 압입되므로 금형공간의 간격이 0.05mm 이상이면 용탕이 침입하므로 이보다는 얇아야 한다.²⁷⁾⁻²⁹⁾

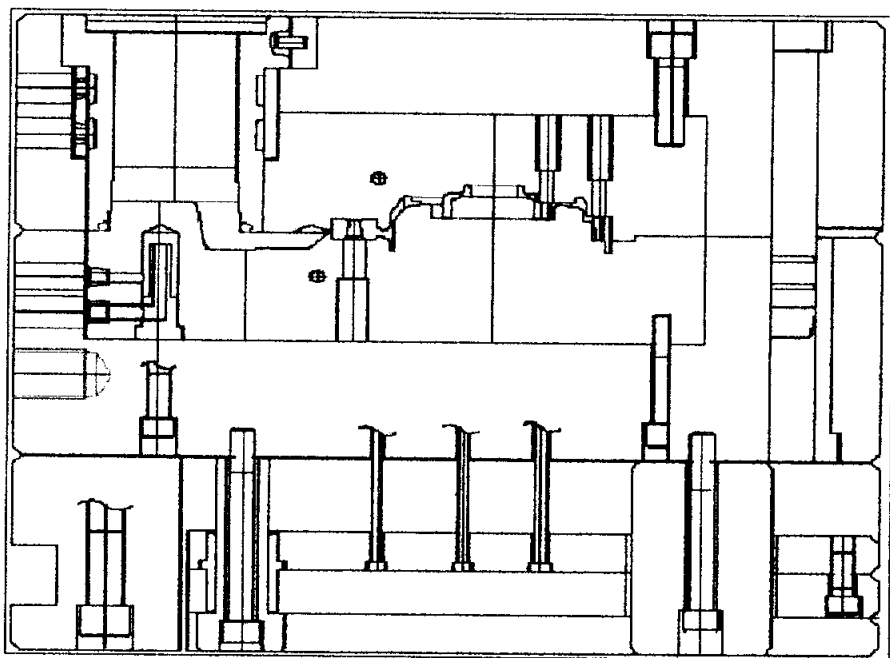


Fig. 1 Structure of conventional mold for die casting

2.1.2 다이캐스팅기의 선정

다이캐스팅에서 제품의 질을 결정하는 형체력과 사용 가능한 충전율은 매우 중요한 요소이다. 필요로 하는 형체력은 제품의 투영면적과 고품질의 제품을 얻기 위한 보압의 곱으로 나타난다. 다음 단계에서 고속단계에서 필요한 유속을 얻을 수 있는가를 확인한다. 필요로 하는 유속은 유동유효저항과 사용 합금인자에 의해 영향받는 충전시간에 의해서 정해진다. 충전시간의 계산식은 다음과 같다.³⁰⁾

$$t_f = k \left[\frac{T_g - T_f + S \times Z}{T_f - T_d} \right] \times T_{cw} \quad \text{-----} \quad (1)$$

여기서,

t_f	ideal cavity fill time	-----	[s]
k	empirically determined constant	-----	$0.03409 \left[\frac{s}{mm} \right]$
T_g	pouring temperature	-----	[°C]
T_f	min. melt flow temperature	-----	[°C]
T_d	die temperature	-----	[°C]
S	" Fraction Solid " in percent	-----	[%]
Z	conversion factor units	-----	$\left[\frac{°C}{\%} \right]$
T_{cw}	characteristic wall thickness of the casting	-----	[mm]

다이캐스팅기의 유동율은 수리학에 의존하고, 유동저항은 유압시스템과 다이 캐비티에 의해 정의된다. 이러한 관점에서 인게이트는 유동저항을 지배하는 요소이다.

Metal pressure (according to Bernoulli with loss term);

$$p_w = \frac{\rho}{2 \times g} \left[\frac{v_r}{c_d} \right]^2 \quad \text{-----} \quad (2)$$

여기서,

p_w	metal pressure	-----	[bar]
ρ	alloy density	-----	[$\frac{kg}{cm^3}$]
g	acceleration due to gravity	-----	[$\frac{m}{s^2}$]
v_r	ingate velocity	-----	[$\frac{m}{s}$]
c_d	resistance coefficient		

Volume flow (continuity equation);

$$Q_w = v_{fs} \times A_p = v_r \times A_A \quad \text{-----} \quad (3)$$

여기서,

Q_w	volume flow	-----	[$\frac{cm^3}{s}$]
v_{fs}	velocity of the second phase	-----	[$\frac{cm}{s}$]
A_p	plunger area	-----	[cm^2]
v_r	ingate velocity	-----	[$\frac{cm}{s}$]
A_A	ingate area	-----	[cm^2]

2.1.3 충전시간

충전시간은 제품의 크기나 내부두께에 따라 결정되고, 충전과정 중에 응고하지 않는 허용시간을 선택한다. Table 1에는 복잡형상 다이캐스팅 주물의 두께에 따른 일반적인 충전시간을 나타내었다.³¹⁾

Table 1 충전시간

unit:[sec]

minimum thickness	AL (ADC 10,12)	AL (ADC1)	Zn (ADAC 1,2)
0.762	0.006	0.004	0.003
1.270	0.012	0.008	0.007
1.524	0.017	0.011	0.010
1.905	0.027	0.017	0.016
2.286	0.040	0.026	0.024
2.540	0.048	0.032	0.034
2.790	0.059	0.038	0.037
3.175	0.072	0.050	0.047
3.810	0.110	0.072	0.072
4.572	0.150	0.105	0.105
5.080	0.180	0.125	0.125

2.2 알터네이터 하우징

“제너레이터(generator)”라고 부르는 차량용 발전기의 정확한 명칭은 “알터네이터(alternator)”라고 부르는게 옳은 표현이다. “제너레이터”는 직류 발전기를 뜻하는 것이고, “알터네이터”는 교류 발전기를 뜻하는데, 차량에는 이 교류 발전기가 장착되며, 그 형상은 Fig. 2와 같다.

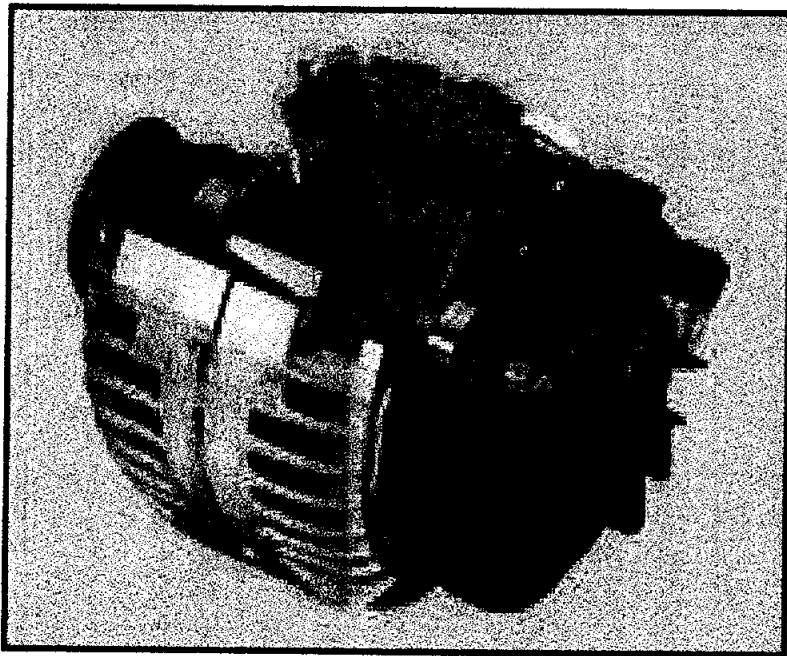


Fig. 2 Photo. of a alternator

이 알터네이터 구조는 크게 발전부인 코일과 마그네틱, 컨트롤부인 레귤

레이터(regulator), 그리고 냉각을 위한 방열판과 몸체인 알터네이터 하우징으로 분류된다. 본 논문에서 다루려는 알터네이터 하우징은 기존의 다이캐스팅 성형기 구조 및 성형 기술로는 제품의 내경 $\varnothing 100$ 기준으로 최대 진원도 0.1 이내의 정밀도는 보장되지 않기 때문에 알터네이터 하우징 제품은 반드시 1차 다이캐스팅 성형후 전용기 또는 범용 선삭기에 의한 절삭가공이 필요하였으며, 이는 제품 원가상승의 요인이 되며, 납기단축과 품질관리상에 근본적인 문제를 안고 있어 이를 해결하고자 한다.

2.3 알터네이터 하우징 성형용 금형설계

일반적인 다이캐스팅 금형의 구조는 이젝팅 시스템이 가동측에 부착되어 있으며, 알터네이터 하우징 제품의 경우 1차 다이캐스팅 성형 후 반드시 전용기 또는 범용 선삭기에 의한 절삭가공이 필요한 근본적인 문제를 가지고 있어 내경 $\varnothing 100$ 기준으로 최대 진원도 0.1이내의 정밀도를 가지는 알터네이터 하우징류의 제품을 만들기 위한 개선방안으로 다음과 같은 점을 설계에 반영하였다. 첫째, 금형과 제품과의 소착, 이젝팅시 충격에 의한 변형, 제품두께에 따른 금형의 캐비티 주위의 적절 온도 유지 등을 해결하고자 고정측에서 이젝팅 작동이 가능하도록 설계하였고, 둘째는 냉각 시스템 구조설계에서 알터네이터 하우징의 기능부 상의 치수정밀도 유지 및 코어의 소착을 방지하기 위하여 코어의 중심부에 냉각채널을 삽입하였다. 또한, 정밀가공 및 조립성을 위하여 코어 와 캐비티는 인서트 방식을 취하였다. 셋째, 제품의 코어상의 소착을 방지하기 위하여 플라즈마 코팅법(plasma cvd multi coating)으로 표면처리하였다. Fig. 3에 개선된 정밀다이캐스팅 금형구조를 나타내었다. 기존의 금형구조로는 제품의 치수정밀도 및 코어의 소착 등으로 인한 올바른 제품을 얻기가 어려운 실정으로 금형구조의 개선이 수반되어야 했다. 따라서 개선된 다이캐스팅 금형구조의 특징은 기존의 이동측에 부착된 이젝팅 시스템을 고정측에 부착하고, 2단 이젝팅 시스템을 도입하면서, 이젝팅시 제품의 형상 및 치수 변형과 코어의 소착에 대한 방지를 도모하였다. ①은 개폐식 코어가 전진하여 제품을 밀어 낼 수 있도록 설치한 실린더이며, ②는 고정측에 설치되어 있는 이젝터 판으로써, 실린더의 전진에 의해 구동되며, 이젝터 판을 밀어준다. ③은 소착방지 코어로 플라즈마 코팅법으로 표면처리하였으며, 이젝팅시 제품에 응력을 최소한으로 줄이기 위해 설치된 것이다. 또한 정밀

가공 및 조립성을 위하여 인서트 코어로 사용하였다. ④는 금형내의 온도를 일정하게 유지하기 위해 설치한 것이며, ⑤는 취출용 이젝터 장치로써 제품의 수축으로 인한 코어의 소착에 대한 이젝팅시 제품의 변형방지를 위해 설치하였다. 아울러 냉각시스템 구조에서는 제품의 기능부를 소착 및 수축에 의한 정밀도 저하를 방지하기 위하여 코어의 중심부에 냉각채널을 설치하였으며, 인서트 캐비티를 설치하였다. Fig. 4는 설계된 금형구조의 개폐동작을 4개의 단계별 공정으로 나타낸 것이다.

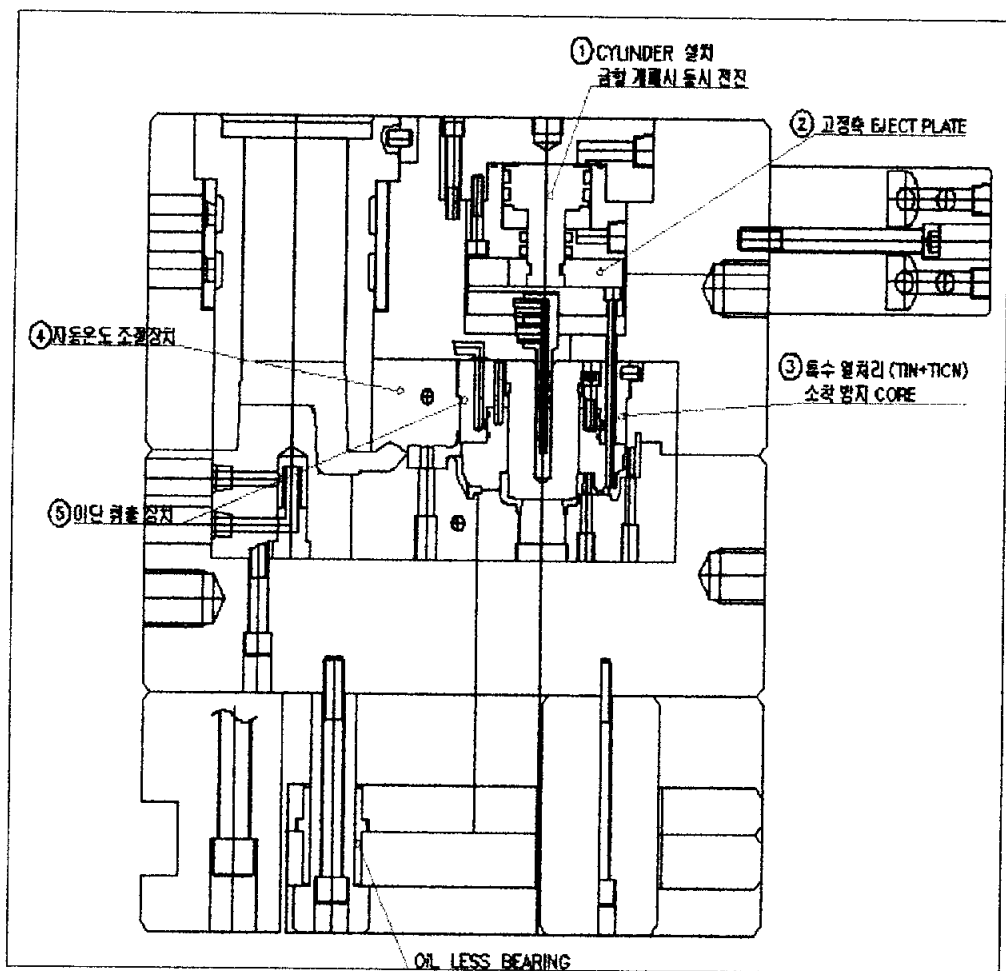


Fig. 3 Assembly drawing of the die for alternator housing

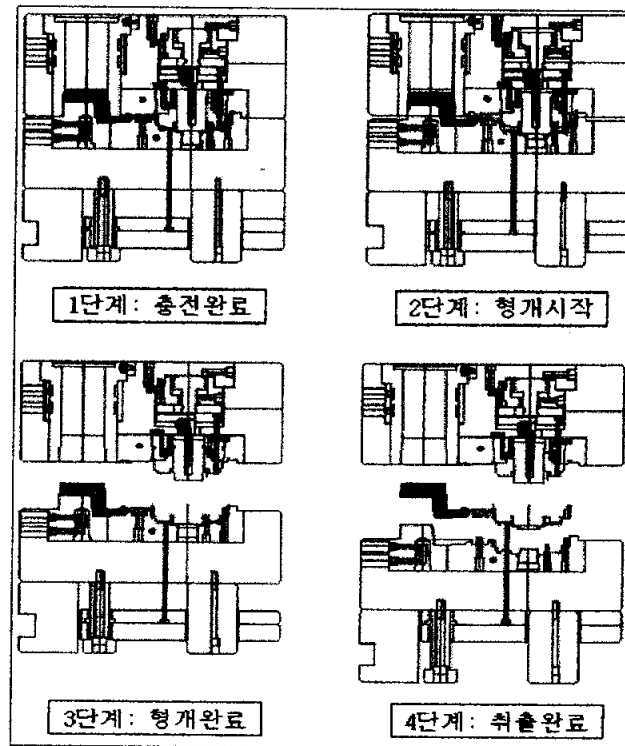


Fig. 4 Steps of the die casting process

플라즈마 코팅법(plasma cvd multi coating)은 일반적인 화학증착(chemical vapor deposition)의 한 종류로 물리증착(physical vapor deposition)과 더불어 건식도금법(dry coating process)으로 분류된다. 또한 화학증착과 물리증착은 세부적인 반응기구는 다르지만, 도금 물질이 액상에서 고상으로 응고되는 것이 아니라 기상에서 고상으로 응축된다는 점에서 기상도금으로 함께 분류하기도 한다. 화학증착과 물리증착의 특징을 보면 우선, 화학증착은 가스가 골고루 침투하여 코팅되며 물리증착에 비해 가격이 저렴하나 샤프(sharp)한 날에는 코팅이 부적절하며 조도가 거칠게 나온다. 물리증착은 화학증착보다 낮은 온도인 450℃ 부근에서 작

업하며 최저 180℃에서도 작업이 가능하며 공해가 없다. 샤프한 날에도 적절하게 가공이 가능하며 가공면의 조도도 높은 편이다. 막의 두께는 내마모용의 경우 편측으로 1 ~ 3.5미크론이나 데코레이션(decoration) 코팅의 경우는 1미크론이하로 코팅을 하며 공구의 경우에는 통상 2.5미크론으로 한다. 공구나 금형의 경우 초경은 상관없으나 강재인 경우에는 반드시 고온 템퍼링을 하여야 하며 표면은 다른 표면처리(흑염처리, 질화처리)가 되어있지 않아야 하며 방전가공을 하였다면 표면경화된 부분을 제거한 후에 코팅해야만 하는 특징이 있다.

3. 성형해석

3.1 해석과정

주조전용 상용 코드인 MAGMAsoft의 일반적인 해석과정은 Fig. 5와 같이 전처리 과정(pre-processing), 요소분할 과정(mesh generation), 해석 과정(solving), 후처리 과정(post-processing)의 4단계로 나뉘어진다.

전처리과정에서는 우선 주조해석을 위한 주조품의 모델링이 필요하며 이러한 형상입력은 3차원 CAD 프로그램을 통하여 입력한다. 인게이트부, 게이트, 고정다이의 형상도 마찬가지로 3차원 캐드를 이용하여 각각 모델링(modeling) 후 주조 해석프로그램에 입력하며 냉각부, 비스킷(biscuit), 가상 열전대 등은 해석프로그램의 전처리기를 이용하여 형성한다.

해석을 하는데 있어 유동이나 열 전달을 풀어내는 식은 연속미분방정식이지만 컴퓨터의 계산과정에서는 이러한 미분방정식을 직접 풀어낼 수 없으므로, 계산할 수 있는 미소요소로의 분할이 필요하게 된다. 이러한 과정을 요소분할과정이라 한다. 요소분할을 하는 형태는 유한요소법(FEM), 유한차분법(FDM) 그리고 유한체적법(FVM) 등이 있다.

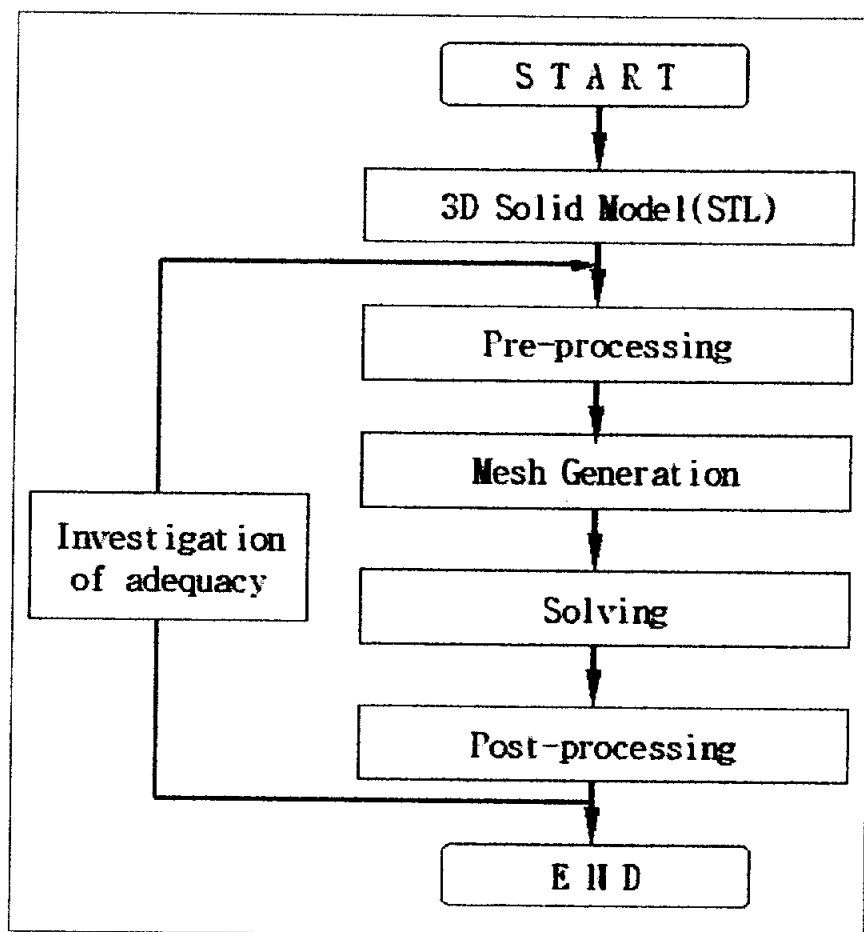


Fig. 5 Flow-chart for die casting analysis

3.2 지배방정식

충전 및 응고해석에 이용되는 지배방정식은 유체의 흐름과 열전달 현상에 대하여 질량, 운동량, 에너지 보존법칙으로 나타낼 수 있다. 열 유동 해석은 푸리에식(Fourier's equation)에 의해 수행되며 유동해석은 나비에-스톡스(Navier-Stokes)방정식에 의한다. 식 (4)~(7)에 3차원 비압축성 유체의 유동 및 응고해석에 사용되는 연속방정식, SOLA-VOF를 사용한 나비에-스톡스(Navier-Stokes)방정식, 에너지 방정식 및 체적일정식 등을 나타내었다. 충전해석중 이용되는 유한차분식(FDE; Finite Differential Equation)을 식 (8)에 나타내었다.^{31)~33)}

● 연속방정식(continuity equation)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{-----} \quad (4)$$

● Navier-Stokes 방정식(Navier-Stokes equation)

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \nabla^2 u + g_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \nabla^2 v + g_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial ww}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \nabla^2 w + g_z \end{aligned} \quad \text{-----} \quad (5)$$

● 에너지 방정식(energy equation)

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad \text{-----} \quad (6)$$

● Volume of Fluid

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \frac{\partial u F}{\partial x} + \frac{\partial v F}{\partial y} + \frac{\partial w F}{\partial z} \quad \text{-----} \quad (7)$$

● Governing Differential Equation(FDE)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \phi) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \phi) = - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi \quad \text{--} \quad (8)$$

여기서, u, v, w ; x, y, z 는 방향속도, ν 는 동점성계수(kinematic viscosity), ρ 는 유체의 밀도, g 는 중력가속도, P 는 압력, 그리고 F 는 유체부피분율을 나타낸다.

3.3 형상정보

전산해석을 위한 전처리과정중에서 모터 하우징의 3차원 형상의 정의를 위하여 EDS사의 Unigraphics시스템을 이용하여 Fig. 6과 같이 모델링 하였으며, A는 주입구(inlet)로서 41181.65 mm³의 체적을 가지며, B는 게이팅부(gating)로 체적은 179335.9 mm³, C는 인게이트부(ingate)로 300.7931 mm³의 체적을 가지고, D는 제품부(cast)로서 105311.3 mm³, E는 오버플로우(overflow)로 3887.85 mm³의 체적을 차지한다. 그리고 성형부인 알티네이터 하우징은 내경 $\varnothing 100$ 기준으로 최대 진원도 0.1 이내의 평균 두께 2.5 ~ 3.5 mm인 치수 정밀도를 가진 형상 모델이다.

이렇게 정의된 형상정보들을 주조전용 상용 코드인 MAGMAsoft에서 인식이 가능한 STL(stereolithography)파일로 변환하여 각 재질군(material group)을 생성한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. MAGMAsoft는 유한체적법(FVM)계열로서 요소분할은 직교좌표 분할에 의하여 자동 요소분할을 수행하며, 용탕의 요소크기에 해당하는 메탈 셀(metal cell)을 정의하여 사용한다.

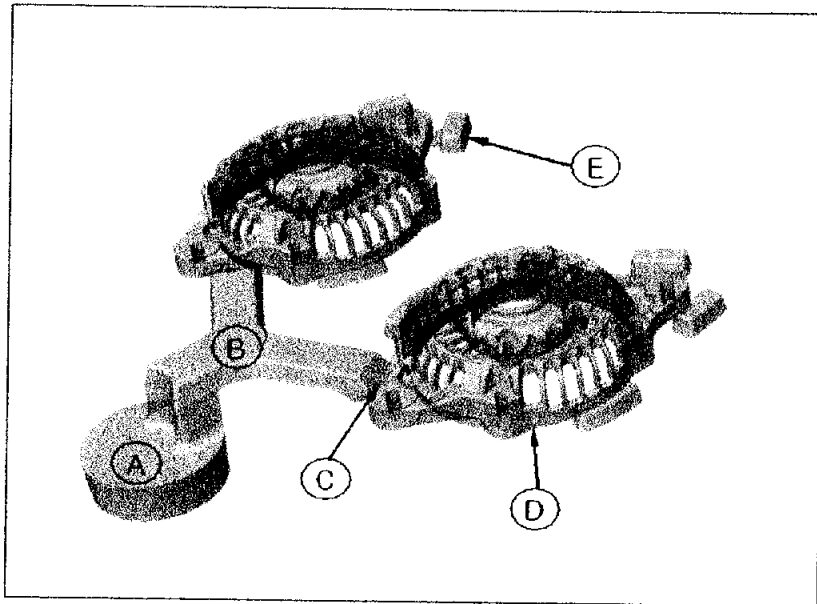


Fig. 6 3-Dimensional solid modeling for motor housing

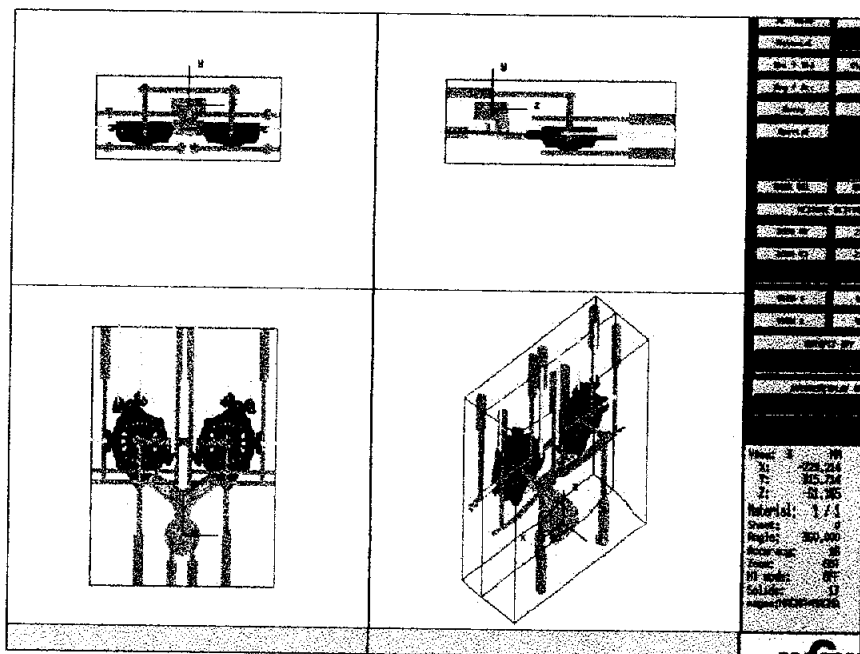


Fig. 7 Geometry generation of MAGMApre

3.4 해석조건

해석의 대상품인 알터네이터 하우징의 재질은 ADC12합금이며, 일반적으로 ADC12합금은 용점이 낮고 주조성, 유동성 및 기계가공성의 성질이 우수하여 일반 다이캐스팅 주조에 범용적으로 많이 이용되는 합금이며 전산 해석을 위한 소재물성 데이터는 MAGMAsoft의 데이터베이스(database)에 내장되어 있는 Table 2과 같은 열적 물성치를 사용하였다. ADC12합금의 화학조성표는 Table 3에 나타내었다.

Table 2 Physical properties of ADC12 alloy

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

Table 3 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.

열 전달해석에 있어서 이종 재질간 또는 분리된 재질간에는 서로 다른 열전

도도에 의한 열 저항치와 불완전 접촉에 의한 접촉열저항(thermal contact resistance)이 있으며 이는 압력, 온도, 표면상태에 의존하여 변화하는 값이다. 특히 용탕과 금형간의 열전달계수(heat transfer coefficient)는 열해석에 있어 중요 인자이며 재질 그룹별 열전달계수를 Table 4에 나타내었다. 또한 유동 및 열 전달해석을 위해서는 정확한 재질의 초기온도, 비열, 밀도, 잠열, 열전도도, 액상선온도, 고상선온도 등의 값이 필요하다. 본 해석에서는 Table 5와 같은 값을 사용하였다. 그 밖의 주조조건으로 금형의 재질은 SKD61이며, 금형의 초기온도를 30℃로 설정하여 7 사이클이상의 해석을 통해 사이클에 따른 금형의 온도변화를 관측하였다. 냉각방안에서 냉각은 물에 의해 냉각되며, 유지온도는 30℃로 설정하였다. 사용한 다이캐스팅 기계는 그림 8과 같으며 사양은 TOSHIBA 350ton으로 해석에 요구되는 플랜저의 직경과 길이는 72mm, 600mm로 각각 설정하였다.

사출조건은 저속과 고속사출의 2단 사출조건이며, 초기 0.2 m/s의 저속 사출은 용탕이 캐비티내로 유입되기 직전, 즉, 인게이트부까지 충전될 때까지의 조건이며, 이후 용탕은 캐비티내로 2.0 m/s의 고속으로 사출된다.

Table 4 Heat transfer coefficient

Material group	Heat transfer coefficient
Die to Die	500 W/m ² K(constant)
General cooling to Die	1500 W/m ² K(constant)
Spot cooling to Die	2500 W/m ² K(constant)
Cast to Die	3000 W/m ² K ~ 7000 W/m ² K

Table 5 Conditions of the material and processing for simulation

Classification		Alternator housing
Material	Cavity	ADC12
	Fixed die	SKD61
	Moving die	
	Core pin	
	Cooling channel	Water
Initial temperature	Cavity	660 ℃
	Die	30 ℃
	Cooling channel	30 ℃
Machine	Machine type	TOSHIBA 350 ton
	Length of shot chamber	600 mm
	Piston diameter	72 mm
Plunger	1st plunger speed	0.2 m/s
	2nd plunger speed	2.0 m/s

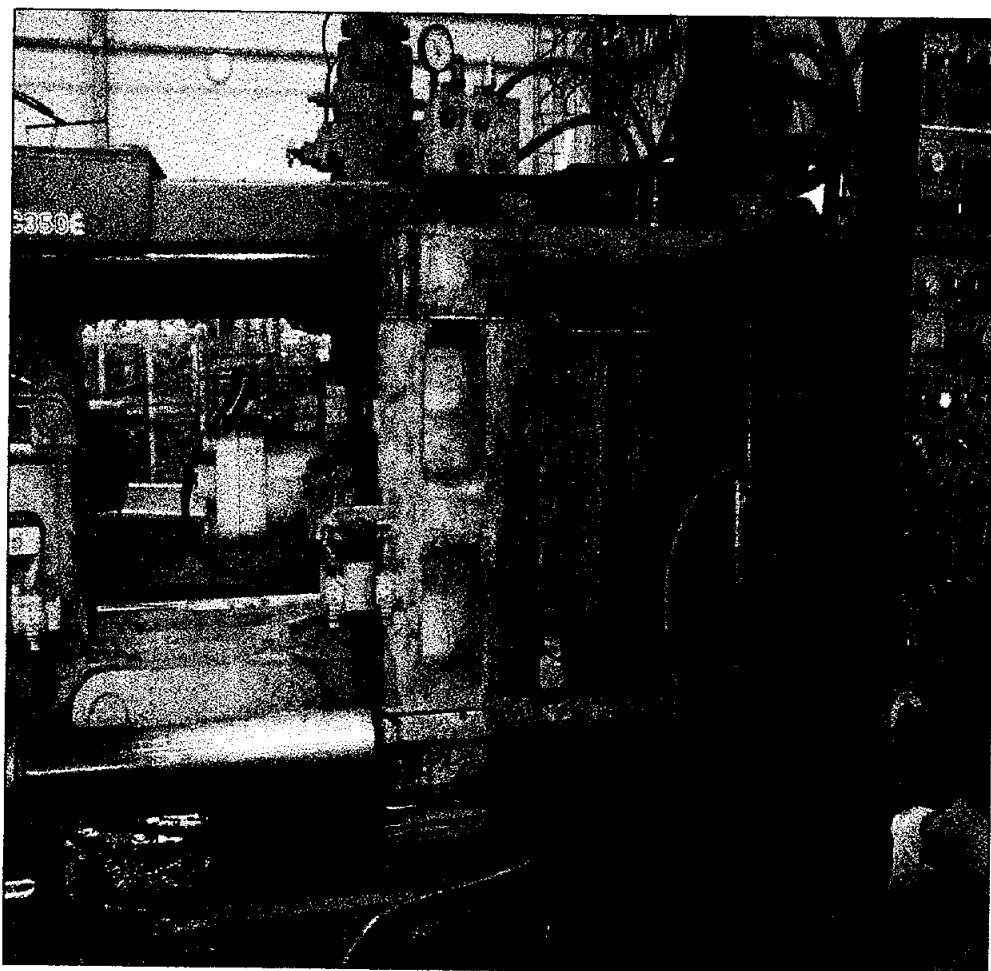


Fig. 8 Photo. of the die-casting machine (TOSHIBA 350ton)

3.5 충전해석

용탕이 신속하게 충전되어 상대적으로 열유동(heat flow)의 영향이 적은 다이캐스팅 주조법은 주조결함의 많은 부분이 용탕의 흐름에 의해 발생하고 있어 다이캐스팅의 주조공정에 있어서의 충전과정은 매우 중요하다고 말할 수 있다. 용탕의 충전이 이루어지는 동안 충전되는 용탕의 유동형태는 주형내부의 온도에 영향을 미치며 온도분포는 용탕의 응고과정에 영향을 미친다. 충전이 이루어지는 동안 응고가 진행될 수도 있으며 응고된 부분이 충전되는 용탕에 의해 재용융 될 수도 있다. 이와 같이 용탕의 유동은 응고 과정과 밀접하게 상호작용하면서 충전이 이루어지기 때문에 충전과정의 해석은 가정 먼저 해석되어야 할 물리적 현상이다. 또한 충전 과정에 기인하는 여러 가지 결함은 충전과정의 해석을 통해 예측될 수 있다. 충전과정에서 발생할 수 있는 결함에는 주형이 완전히 채워지지 못하는 불량, 표면 난류와 같은 충전에 의한 공기나 가스의 혼입 등이 있으며 용융선단의 충전속도가 느린 경우 높은 열손실(heat loss)과 함께 미스런(misrun)과 콜드셧(cold shut)을 유발하며, 반면 너무 빠른 용탕의 충전속도는 금형내 게이팅부와 캐비티부의 마모를 촉진하는 결함이 발생할 수 있다. 이러한 결함을 예측하기 위해서는 주형의 충전단계 유동해석과 열전달 해석이 선행적으로 이루어져야 한다.

실제 충전과정에서는 초기 금형의 온도를 상온으로 만든 후에 작업을 시작하여 적절한 온도까지의 상승을 위하여 수 번의 사탕(cold shut)작업을 한다. 따라서 실제의 충전과정시의 금형온도에서의 주조해석을 실시하기 위하여 수 사이클후에서의 충전해석을 하였다.

총 사이클 과정은 금형이 체결된 후 용탕이 주입되면 용탕의 충전완료 후 주물의 강도 및 수축공의 제거를 위해 응고과정중에 보압을 가하며 응

고완료 후 금형이 열리면서 제품이 취출되고 금형표면에 대한 이형제의 스프레이 작업 후 다시 금형이 체결되는 순서로 이루어진다.

3.6 응고해석

컴퓨터에 의한 응고해석을 하는 목적은 여러 가지가 있지만 주물내에 생성될 수 있는 수축공 결함의 발생위치 및 그 정도를 예측하는 것이 매우 중요한 과제일 것이다. 또한 응고해석이 주조현장에서 직접적으로 실용화되기 위해서도 주물의 수축공 결함을 보다 정확하게 예측하는 일이 중요한 연구과제이다. 응고수축에 기인하는 주조결함은 그 발생장소, 발생형태 등에 따라 몇가지로 구분되고 있는데 일반적으로 발생기구에 따라 크게 수축공(shrinkage hole)과 기공(void)으로 구분할 수 있으며 수축공은 용탕의 유동이 종료된 후 생성되는 거시적인 공동상을 의미하며, 기공은 수지상정(dendrite)간 용탕의 유동성이 작으며, 고상율이 높은 고액공존구역(mushy zone)에서 상당량의 용탕이 잔류하므로써 그 응고수축에 의해 발생하는 다공질의 미세 수축공이라고 할 수 있다.

수축공의 발생은 기본적으로 용탕의 유동현상에 기인하는데, 이는 응고과정중 용탕의 유동이 점성유체의 난류현상이며, 수지상정의 성장에 따라 응고계면이 복잡한 형상을 나타내는 등 다양하고 복합적인 원인에 의한 현상이기 때문에 이러한 물리적 현상들을 엄밀하게 해석하는 것은 매우 어려운 문제일 것이다.

본 연구에서는 응고해석으로 수축응고결함의 발생가능성이 높을 것으로 예상되는 제품의 후육부위를 중심으로 수축응고 결함발생 위치와 온도, 냉각속도 및 응고 진행율 등을 비교하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 충전해석결과

용탕의 전체적인 충전거동(filling behavior)을 Fig. 9 ~ Fig. 12에 나타내었다. 제품의 디자인 단계부터 성형성을 고려한 2.5 ~ 3.5mm의 균일한 두께 설계로 충전패턴이 일정한 흐름으로 충전됨을 알 수 있었다. Fig. 13에서는 충전중의 용탕온도가 액상선($T_{liq}=614^{\circ}\text{C}$) 이하로 떨어지지 않는 양호한 충전거동임을 나타내고 있다. Fig. 14 ~ Fig. 15는 인게이트가 충전된 직후 약 50%가 충전된 시점의 충전상태를 나타내는 것으로, 표기된 A부분에서 용융선단이 인게이트부근에서 충돌하여 와류(swirling flow)가 발생하며, 이로 인한 결함의 발생가능성이 높은 부분이 발생하였다. 이는 용탕의 흐름이 후육부인 A부분에서 휘돌아가면서 흐르기때문이라 판단된다. 그 결과 용탕의 유동성과 인게이트에서의 사출압력이 저하되며, 제품의 품질과 금형 모두에 중요한 요인인 용탕의 유동속도가 느려져서 열손실로 인한 콜드셧(cold shut)의 유발과 공기를 혼입하여 생기는 기포결함이 예상되어지며, 이의 방지를 위해서는 금형의 파팅라인 이동과 오버플로우를 용탕의 흐름이 어려울 것으로 예상되는 A부위에 첨가해야 할 것으로 사료되어졌다. 이결과를 토대로 Fig. 17과 같이 금형에 오버플로우를 첨가하여 성형한 결과, 양호한 성형성을 지닌 제품을 얻을 수 있었다.

Fig. 16 ~ Fig. 17은 제품의 디자인 단계에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 충전해석 결과까지의 데이터를 반영하여 제작한 금형의 코어와 캐비티를 나타낸 이미지이다. 해석결과가 반영되어 제작된 Fig. 16 ~ Fig. 17의 금형은 코어부에서 다목적용으로 플라즈마 코팅법으로 표면처리가 되어진 상태이며, 캐비티와 함께 인서트 타입으로 제작 완료하였다.

Fig. 18은 유동상의 와류에 대한 보완책으로 이 부분에 오버플로우를 추가하여 제작된 금형으로 성형한 제품을 보여주고 있다. 성형상의 충전거동은 시뮬레이션한 결과와 잘 일치하였고 이젝팅한 후 별도의 기계적 선삭 작업이 필요없게 되었으며 시험 다이캐스팅을 실시하여 해석결과와 부합하는 최적의 주조조건을 찾아내었다.

Fig. 19 ~ Fig. 20은 주형내의 충전 거동을 비교, 검증하기 위하여 다이캐스팅 기계(TOSHIBA 350ton)로 플런저를 부분적으로 전진시켜 충전을 진행하여 유동 해석결과와 비교한 결과이다. Fig. 19 ~ Fig. 20과 같이 55%, 75%의 해석결과와 잘 일치하였다. 이 충전거동의 비교, 검증은 다이캐스팅 기계 특성상 고속 사출속도에서 급속한 정지조작이 사실상 불가능하여 실제 사출속도보다 저속의 사출조건을 적용하여 성형하였는데, 실제 사출조건이 달라짐에도 불구하고, 충전율에 따른 충전거동이 해석결과와 유사하게 나타남을 알 수 있었다. 이것은 다이캐스팅 공정시 충전패턴은 플런저의 사출조건보다는 제품이나 금형의 캐비티 형상 또는 게이팅 시스템의 형상과 위치 등에 영향을 더 많이 받는 것으로 판단되었다.

Fig. 21 ~ Fig. 23은 각각 압력과 충전시간 및 용융선단의 속도에 대한 해석결과치를 나타내고 있다.

이상과 같이 충전해석결과를 활용하여 캐비티내의 유동패턴의 양상을 금형설계전에 확인, 검증하므로써 주조제품의 결함예측과 수정방안을 마련할 수 있어 올바른 설계로 직결될 것이라 사료되며 도출된 주조공정 해석 결과는 실제 양산시 생산성 증가를 가져오는 정량적인 효과가 기대된다.

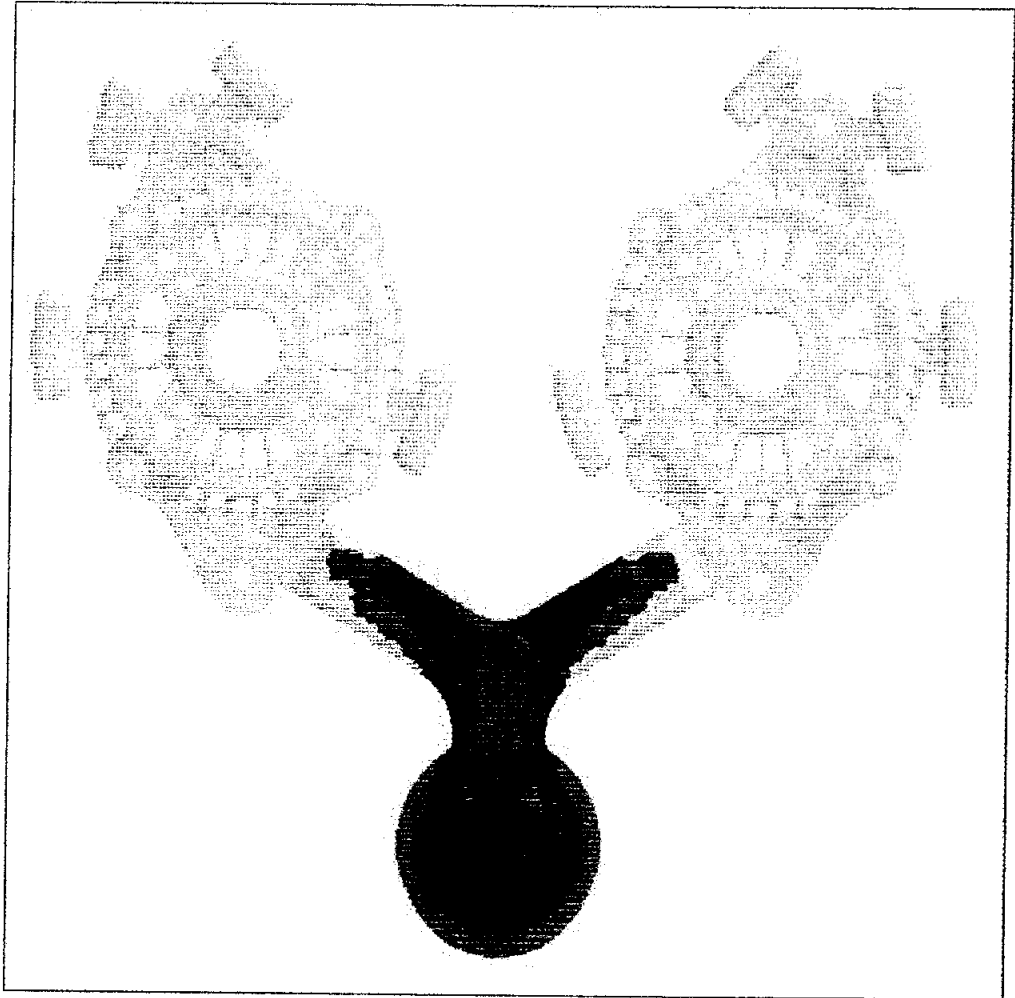


Fig. 9 42% Filling behavior of alternator housing

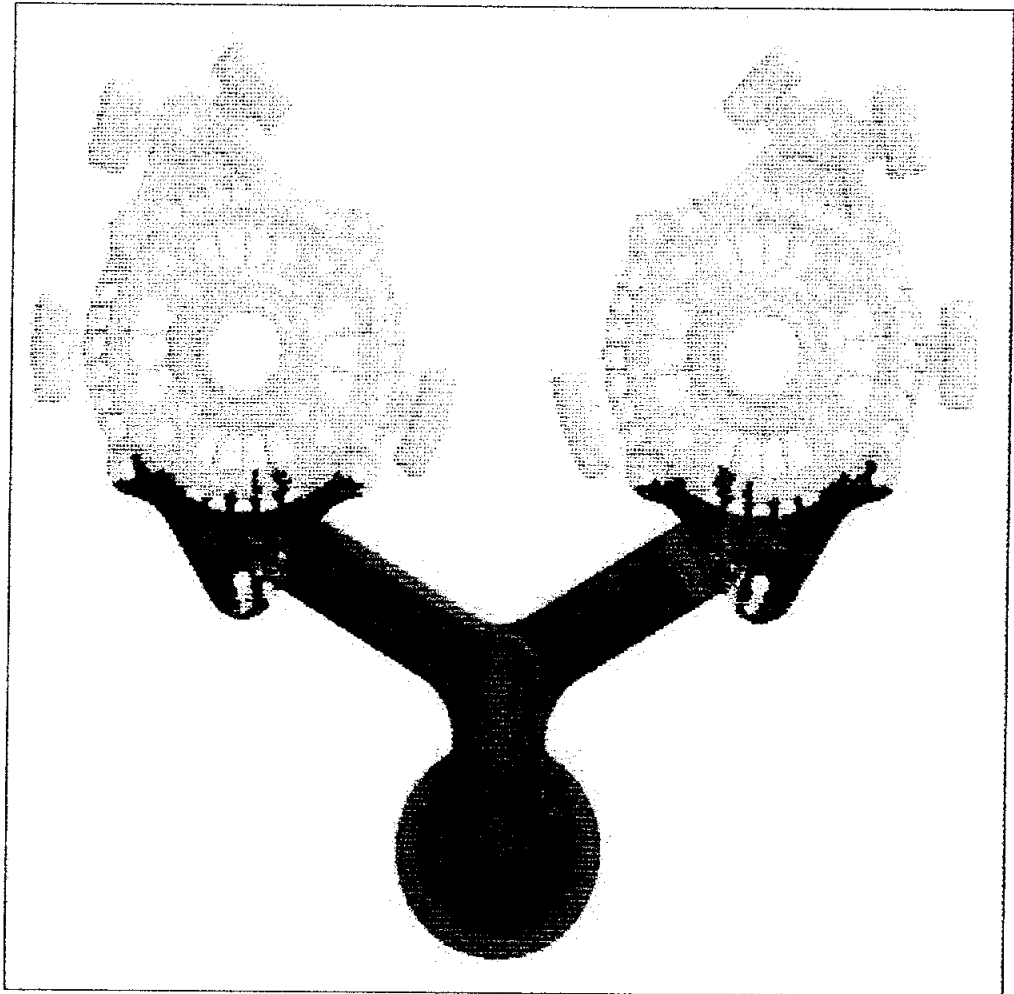


Fig. 10 53% Filling behavior of alternator housing

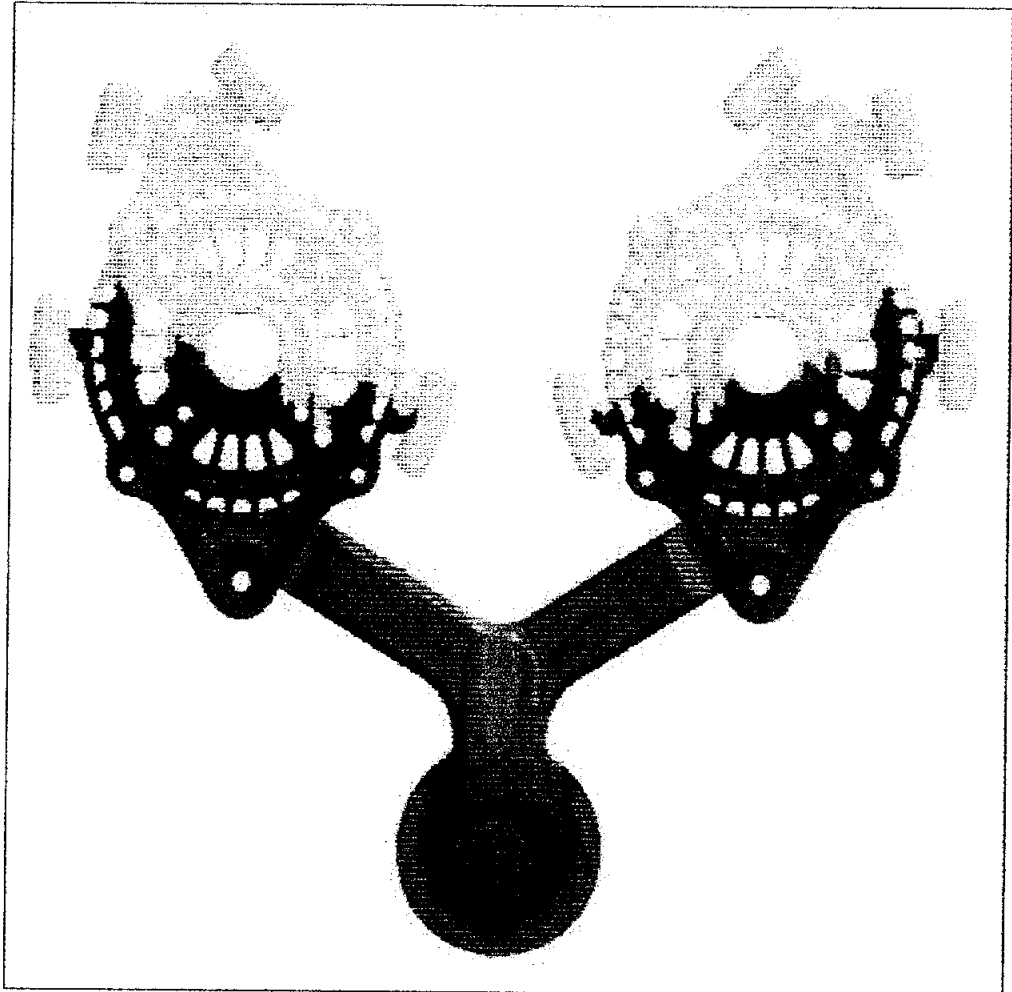


Fig. 11 75% Filling behavior of alternator housing

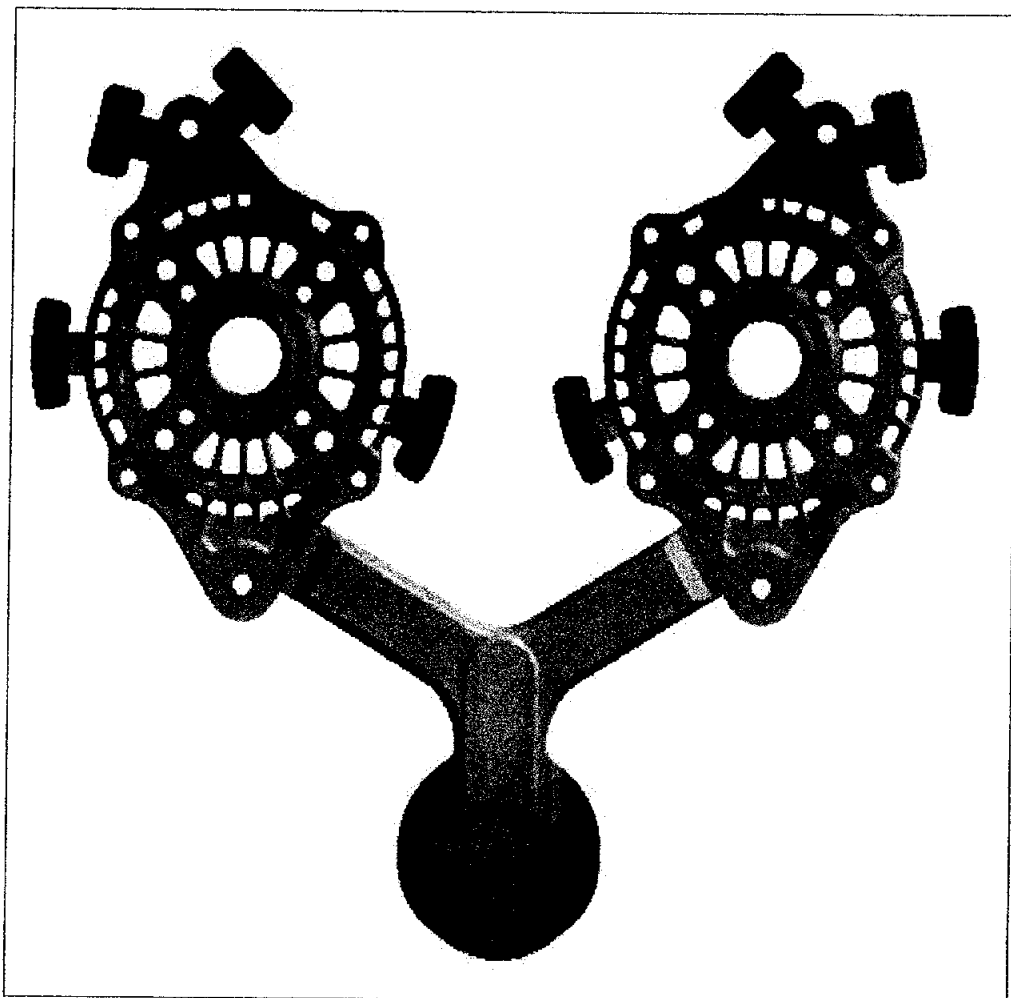


Fig. 12 100% Filling behavior of alternator housing

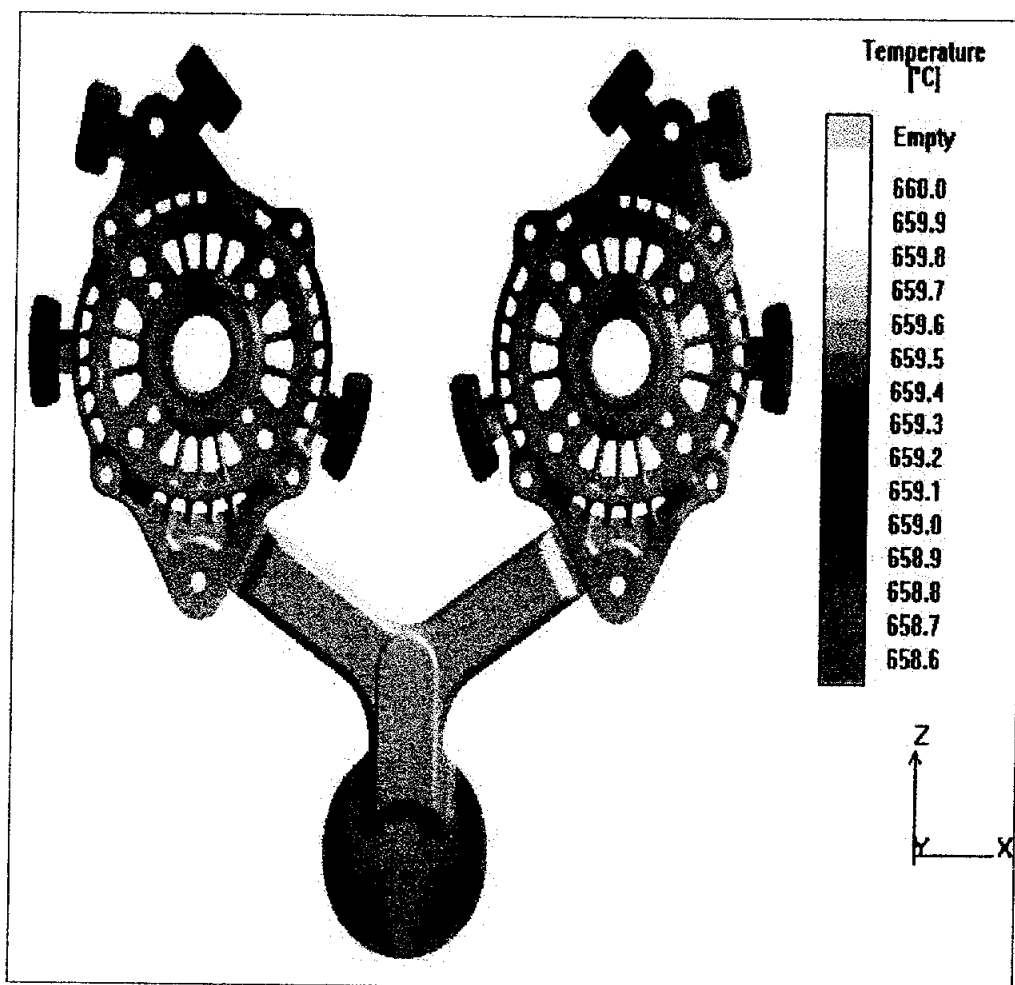


Fig. 13 Temperature distribution of alternator housing

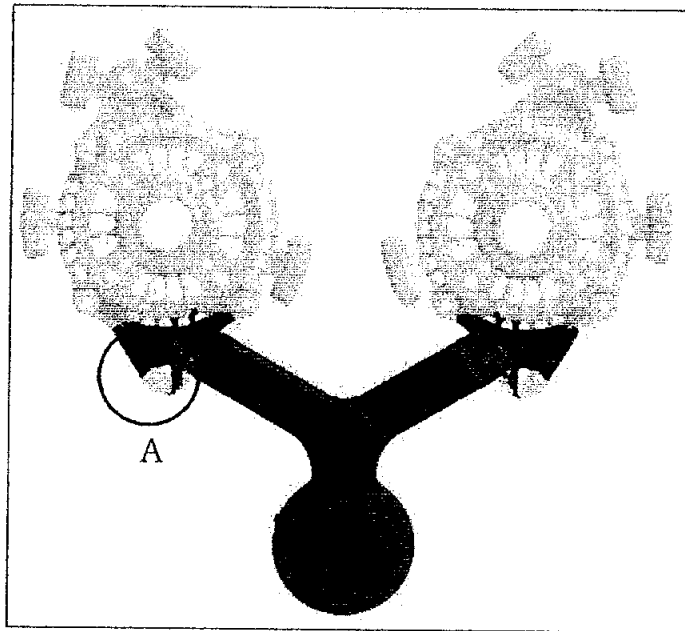


Fig. 14 50% Filling behavior of alternator housing

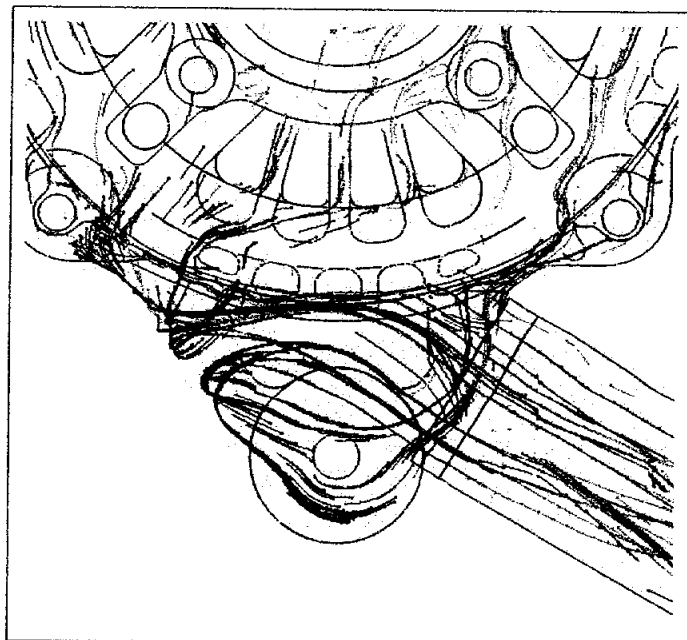


Fig. 15 Magnification diagram of Fig. 14 - " A "

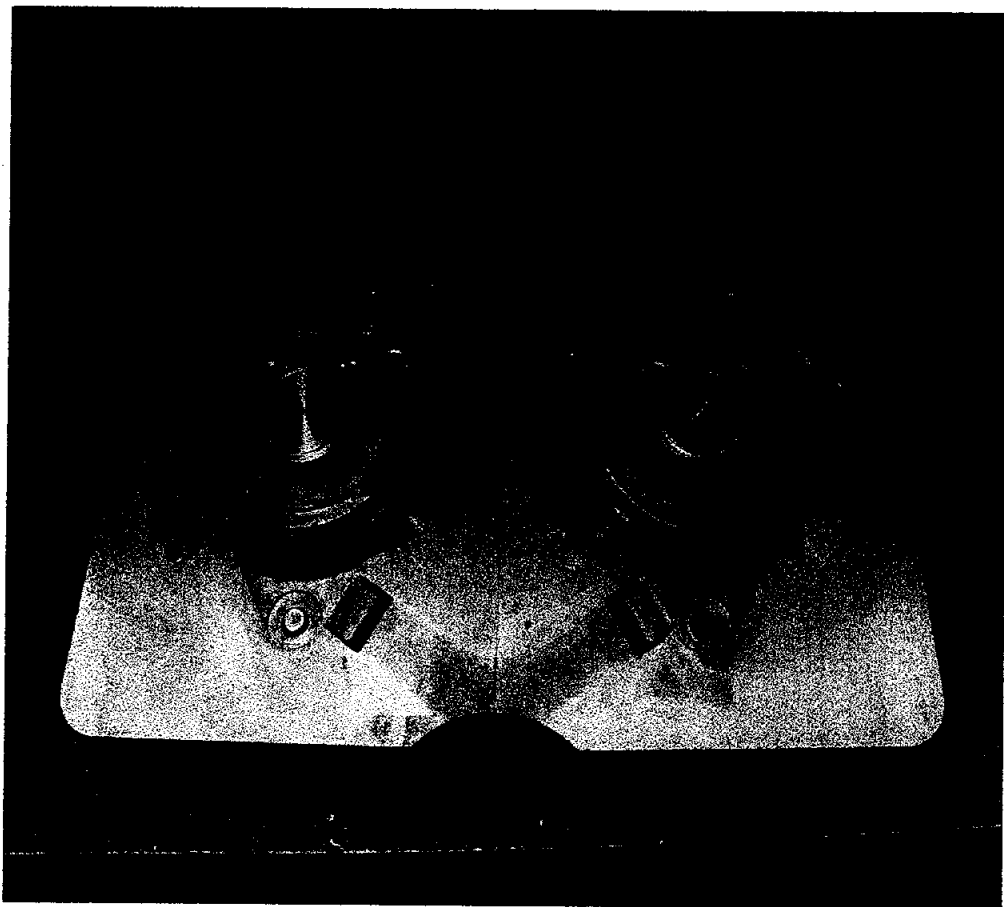


Fig. 16 Photo. of the insert core

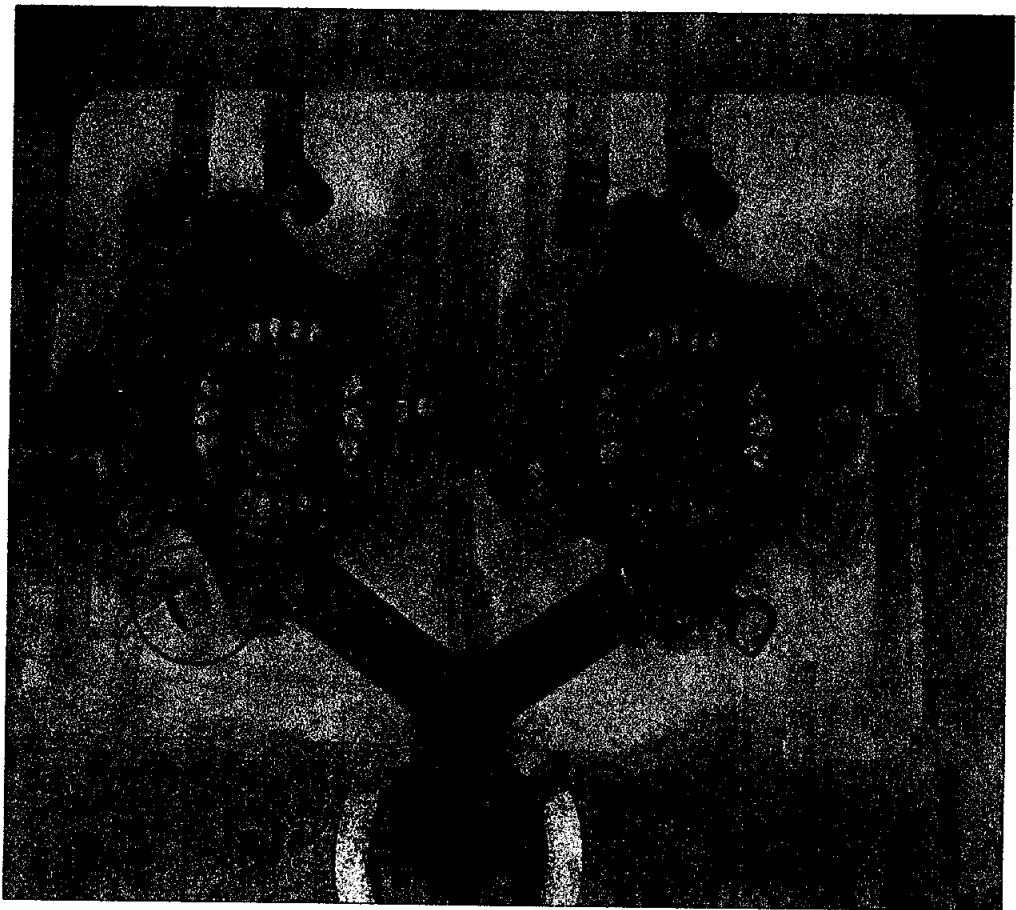


Fig. 17 Photo. of the cavity

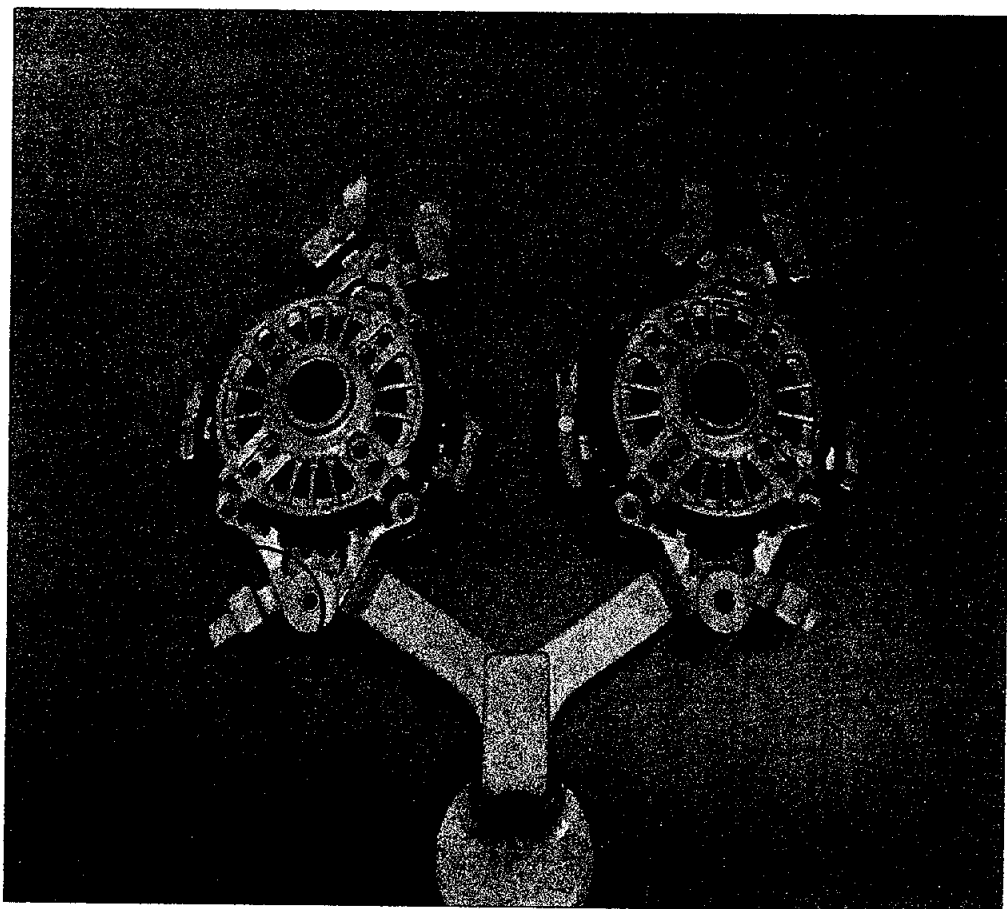


Fig. 18 Photo. of the cast

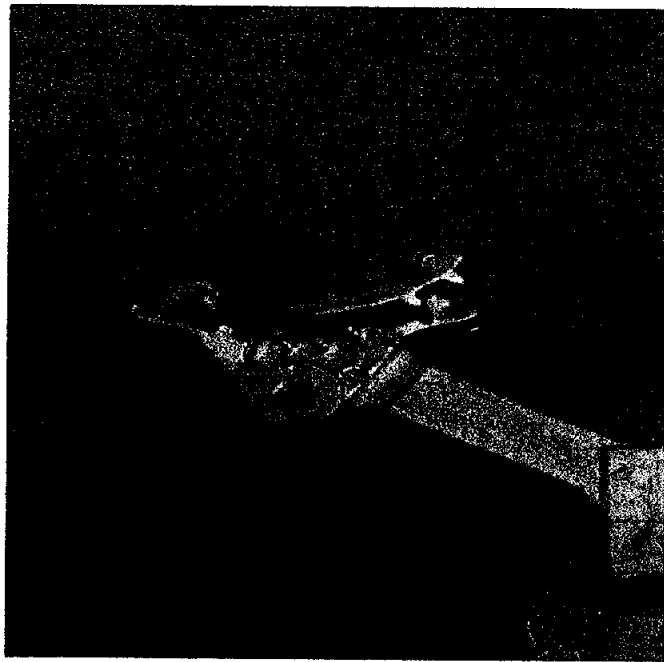
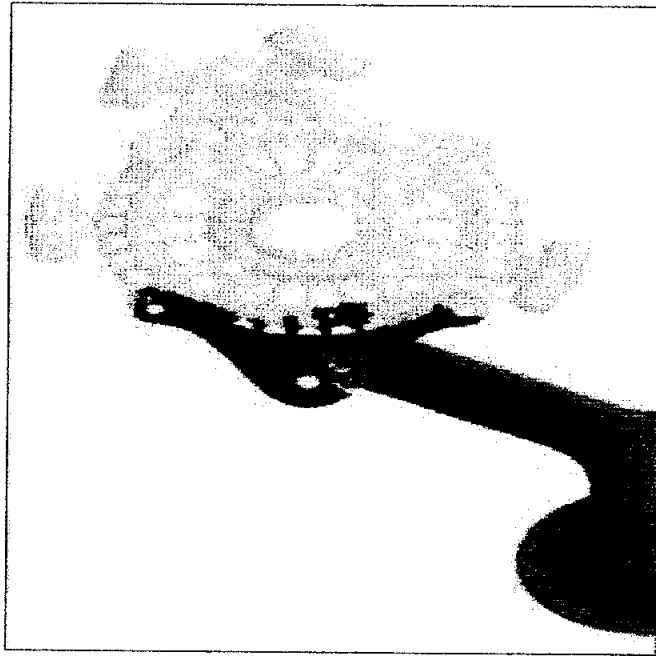


Fig. 19 Comparison of simulation and actual casting at 55% filled state

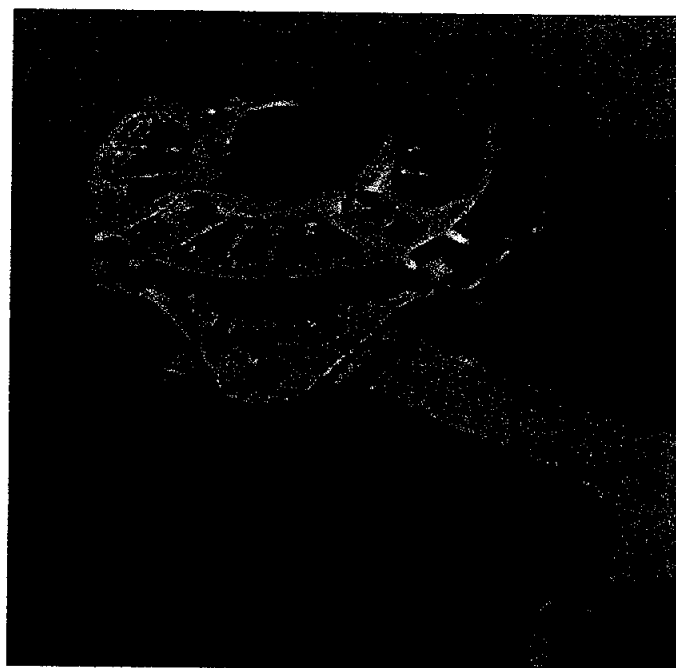
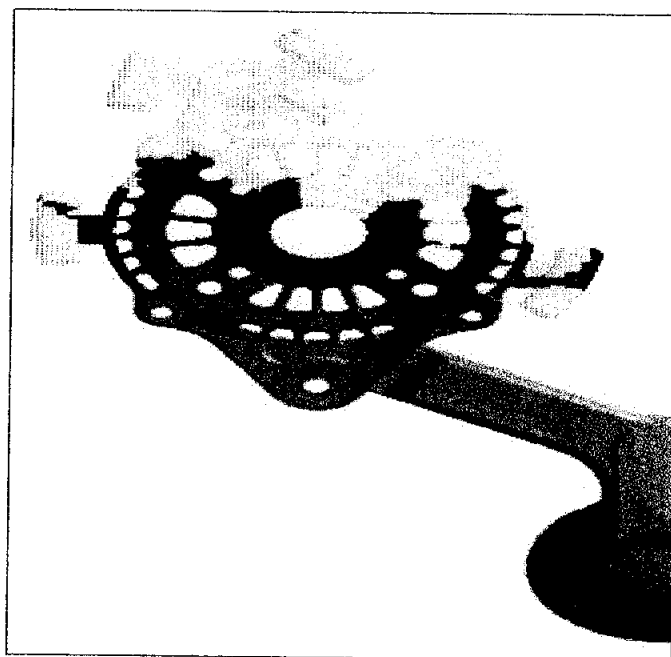


Fig. 20 Comparison of simulation and actual casting at 75% filled state

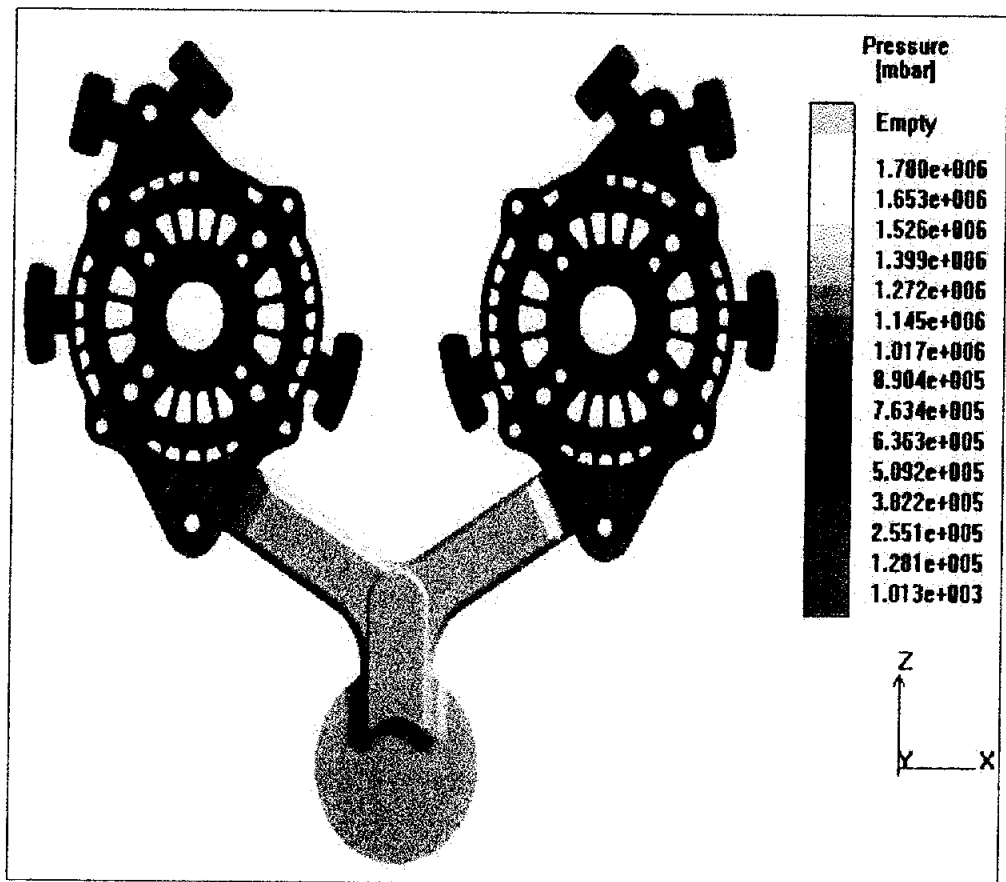


Fig. 21 Pressure distribution of alternator housing

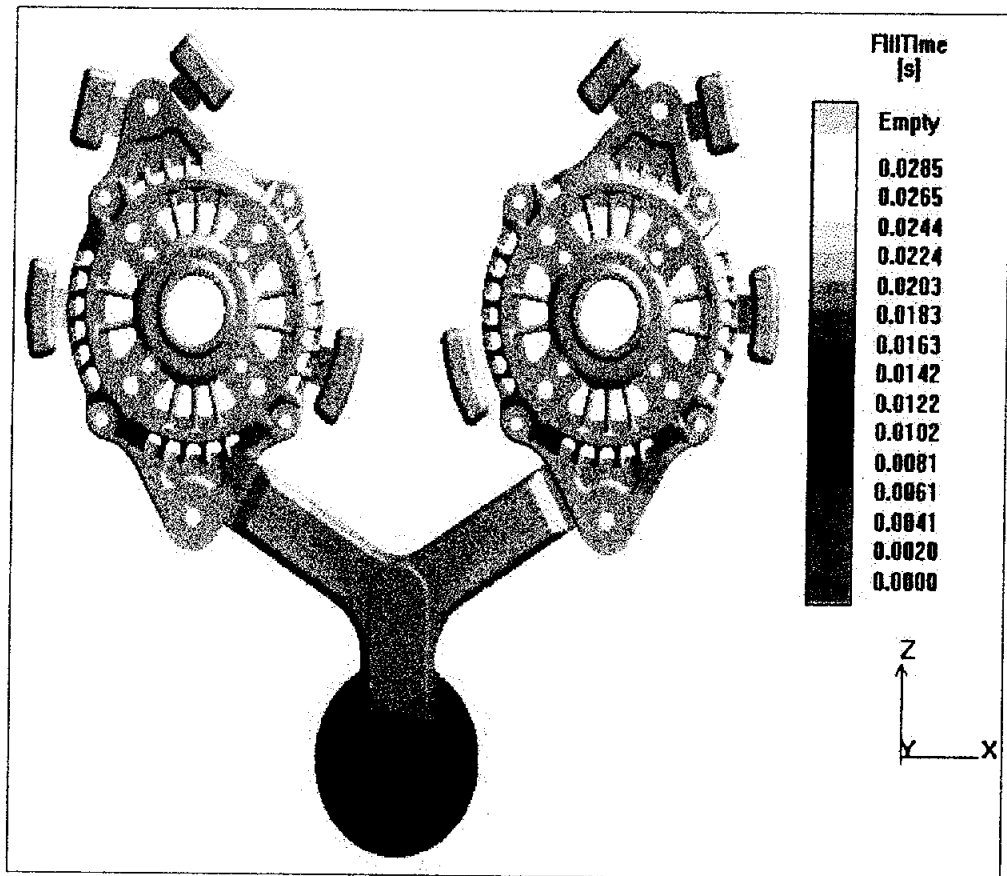


Fig. 22 Fill time of alternator housing

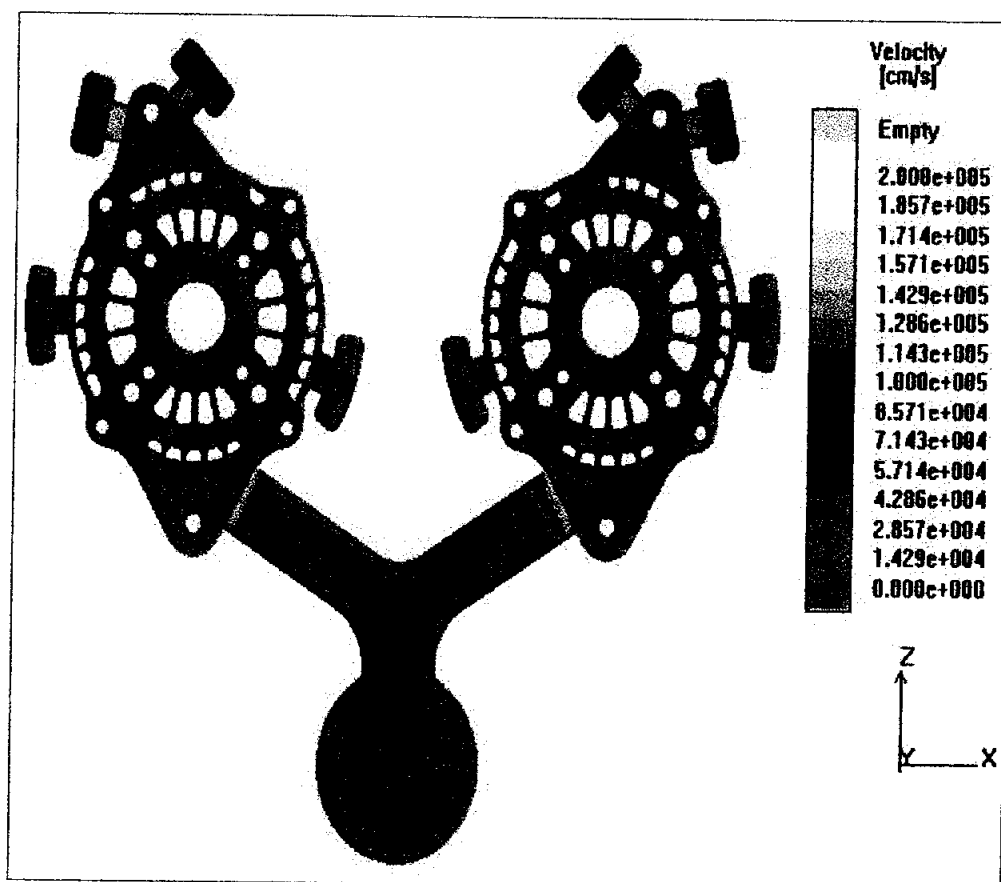


Fig. 23 Velocity distribution of alternator housing

4.2 응고해석결과

Fig. 24은 응고해석을 위한 냉각시스템을 나타낸 것이며 Fig. 25 ~ Fig. 29은 ADC12 합금의 고상온도($T_{\text{sol}}=555^{\circ}\text{C}$)를 기준으로 제품의 부위별 응고 진행과정을 시뮬레이션한 결과이다. Fig. 25 ~ Fig. 28와 같이 충전이 완료된 이후 박육부인 외각으로부터 응고가 시작되어 후육부인 나머지 부분으로 응고가 진행되는 일반적인 양상을 보였으며 Fig. 29은 전체적인 응고시간의 분포를 나타내고 있다. Fig. 30에서는 응고시간이 다른 부위에 비하여 상대적으로 지체되어 결함이 예상되어지는 부위를 나타내었다. Fig. 30에서 알 수 있듯이 인게이트의 응고가 서서히 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 해석결과의 인게이트 응고시간을 고려하여 가압시간을 설정함으로써 최적의 주조 공정조건에 의한 양질의 균일한 양산제품을 기대할 수 있을 것이다. Fig. 31 ~ Fig. 32은 고정측과 가동측 금형의 온도분포를 나타낸 것이다. 7번째 사이클에서 제품 취출시의 온도로서 코아의 온도는 평균 300°C 이내로 유지되고 있다. 일반적으로 금형주조시, 금형부에서 국부적인 열 집중부가 발생하여 400°C 이상의 고온을 나타낼 때, 제품 취출시에 소착현상이 발생되므로 본 연구의 제품인 알터네이터 하우징은 이에 대한 문제는 크게 발생되지 않을 것으로 예상된다.

Table 6에 응고 시간별로 제품부의 응고율을 나타내었다. 알터네이터 하우징 제품이 완전하게 응고하는 시간(solid time ; 용탕이 고상선에 도달할 때까지의 시간)은 14.5초 정도로 나왔는데, 이를 기준으로 본다면 인게이트 응고시간이 11.0초이므로, 시간차(약 3.5초)에서 오는 나머지는

Fig. 30에서 나타나는 아직 응고되지 못한 부위인 후육부임을 알 수 있다. 이로써 현재의 냉각시스템으로는 박육부와 후육부의 응고 시간차에서 오는 수축결함을 완전하게 해결할 수 없다고 판단되며, 앞으로 보완된 냉각시스템에 대한 연구가 좀 더 필요할 것으로 사료된다.

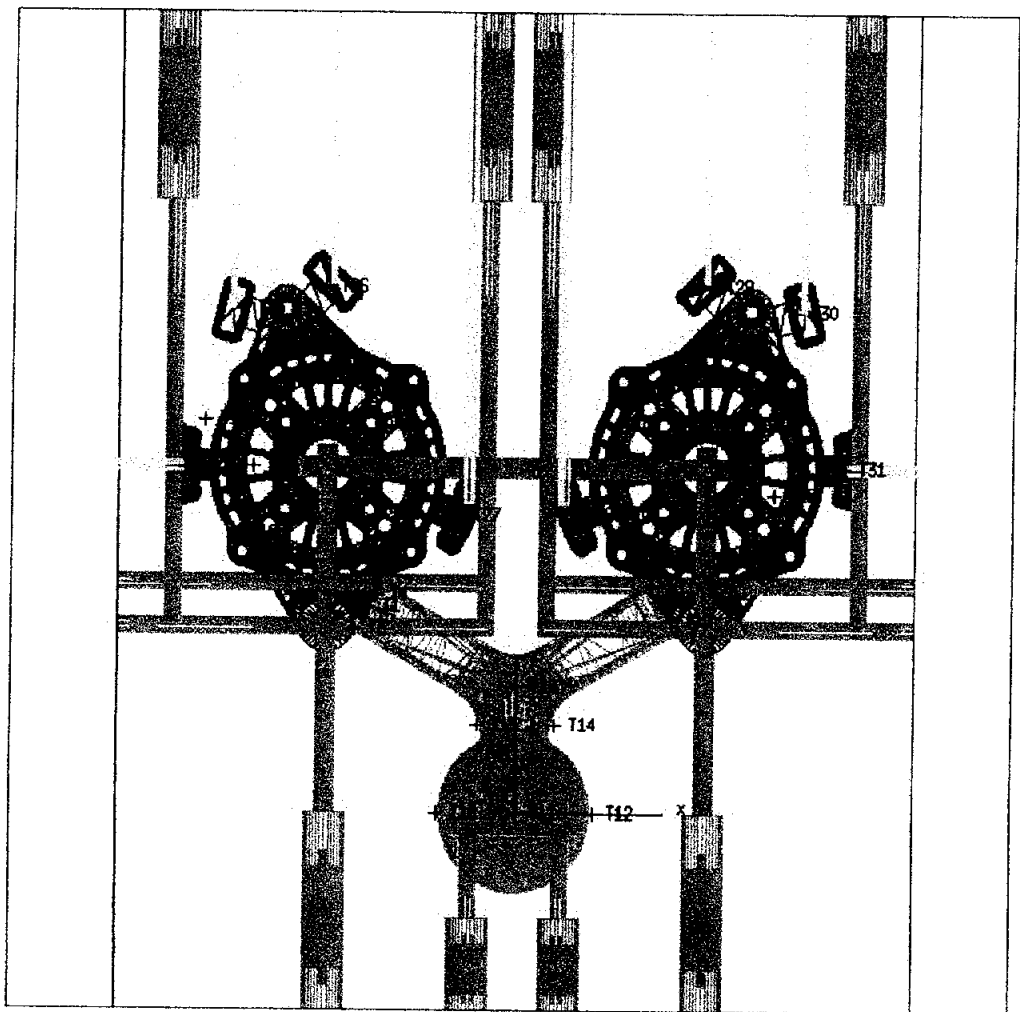


Fig. 24 Cooling design of alternator housing

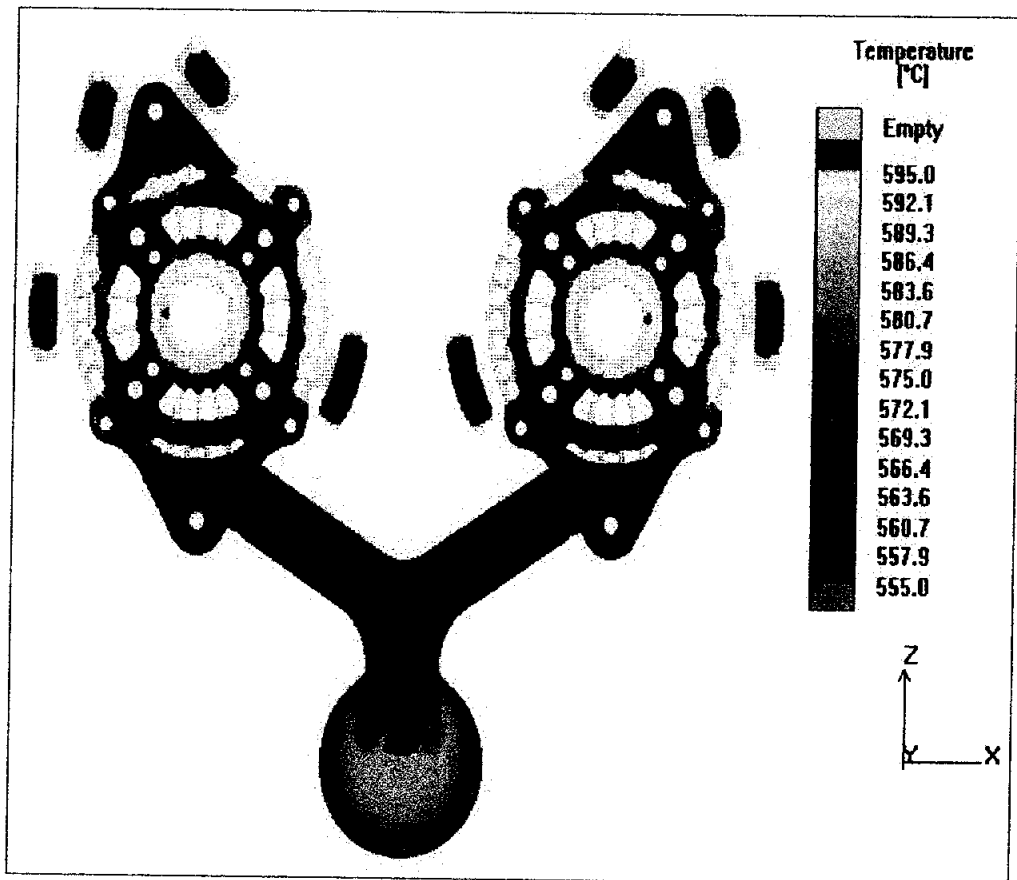


Fig. 25 50% Solidification state of alternator housing

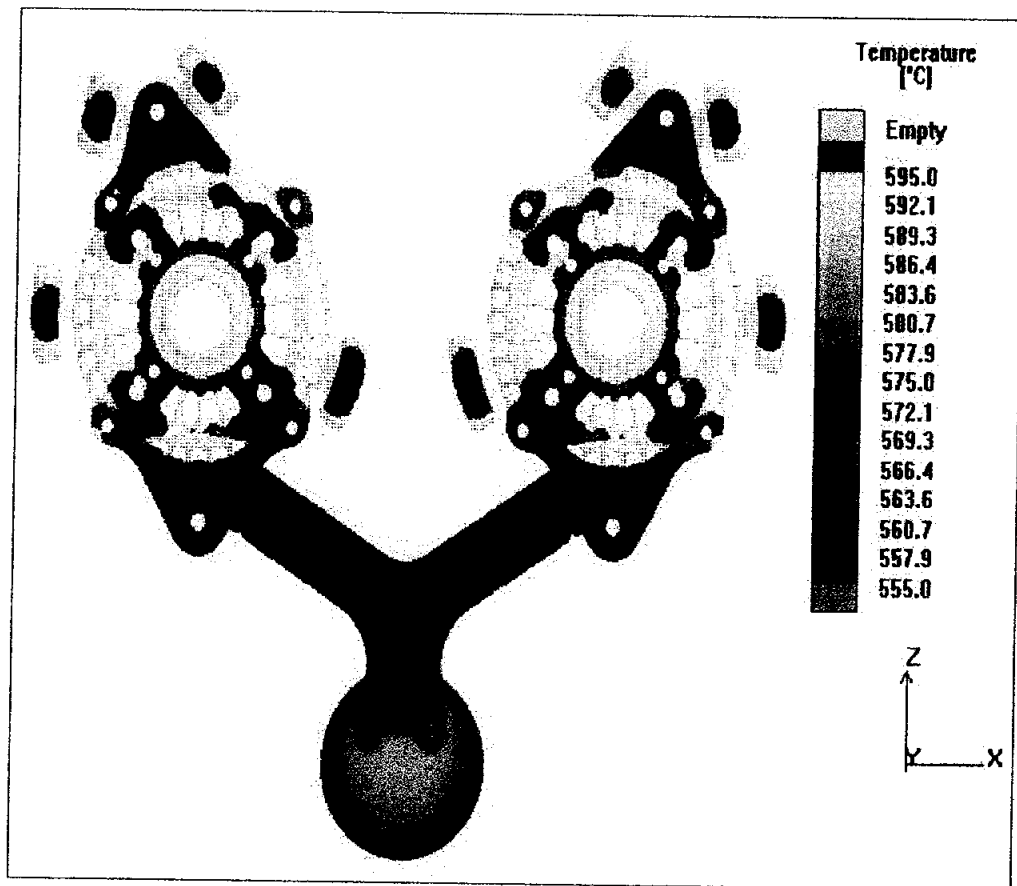


Fig. 26 58% Solidification state of alternator housing

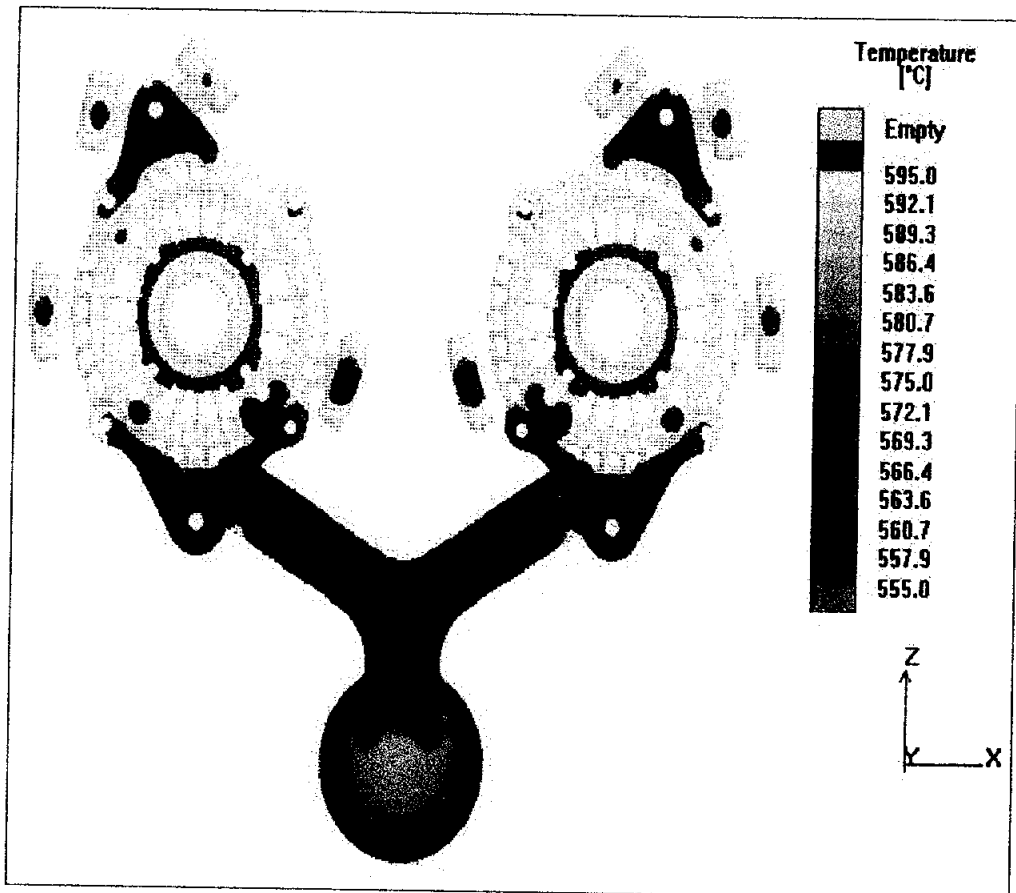


Fig. 27 63% Solidification state of alternator housing

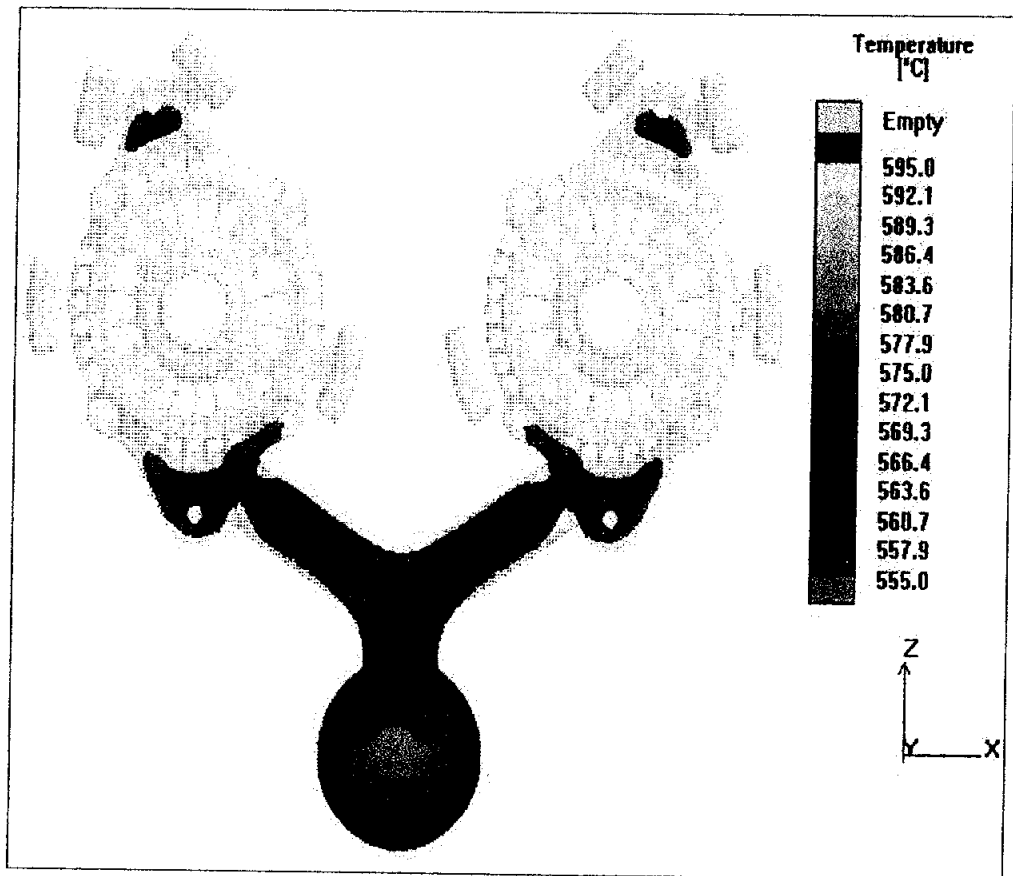


Fig. 28 70% Solidification state of alternator housing

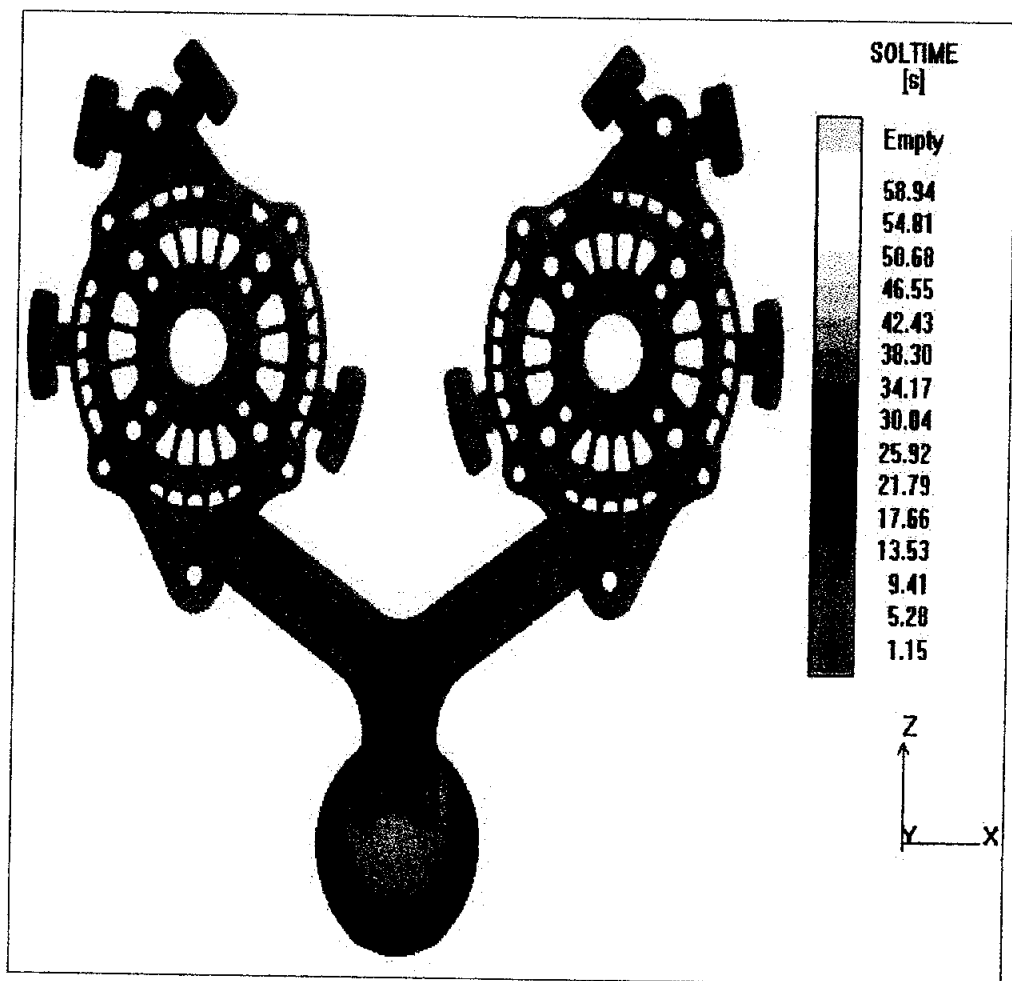


Fig. 29 Solidification time distribution of alternator housing

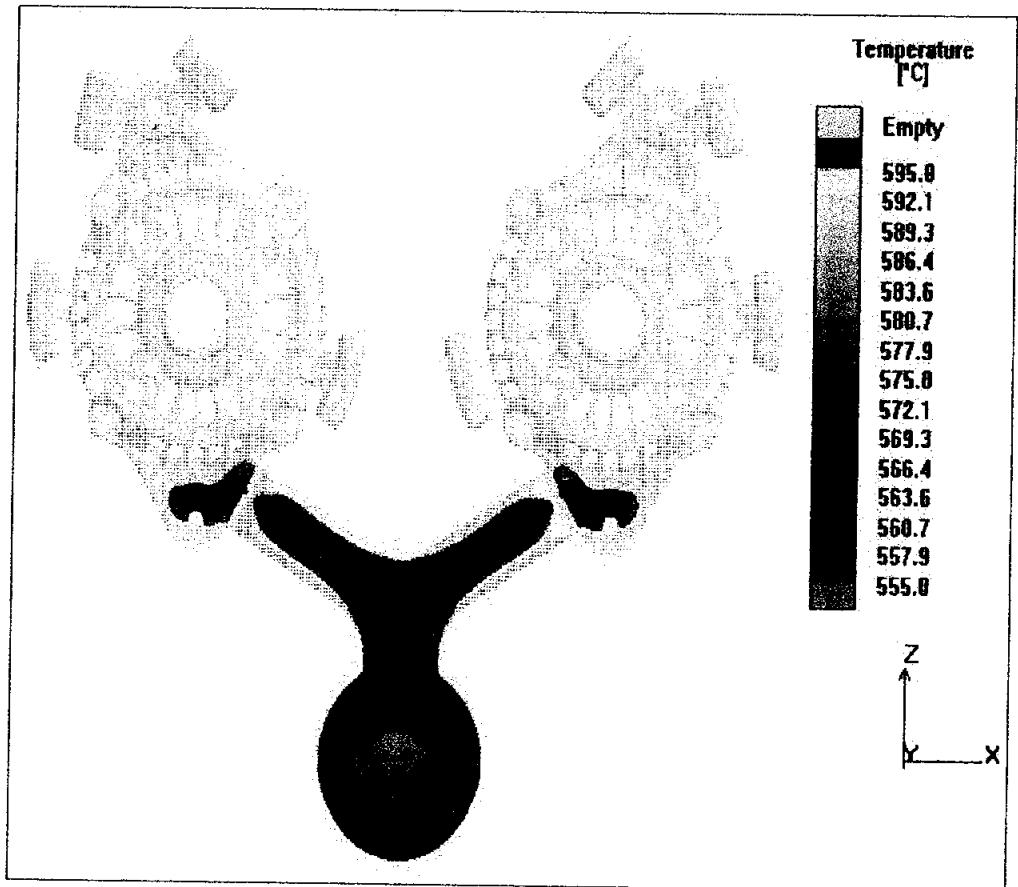


Fig. 30 The predicted defect zone by solidification simulation
(at 11.0 seconds)

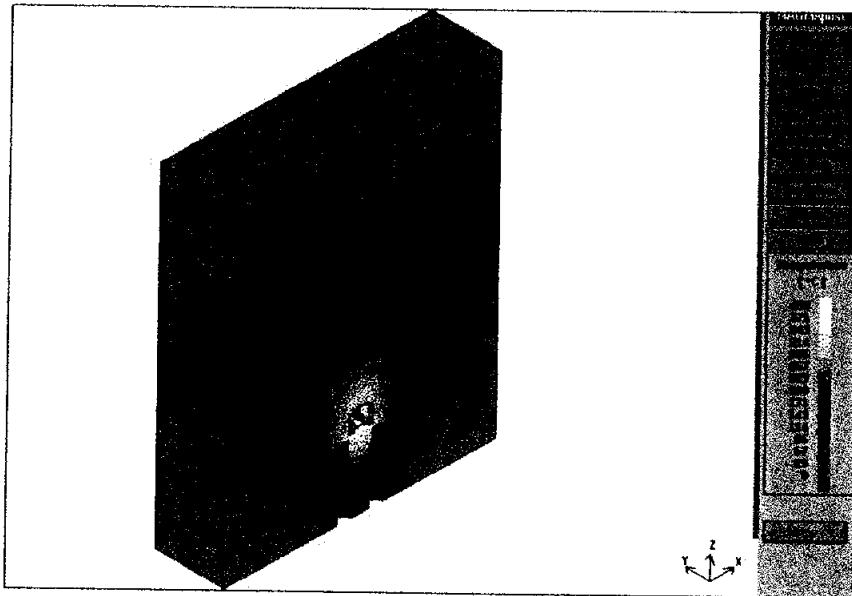


Fig. 31 Temperature distribution in the fixed die

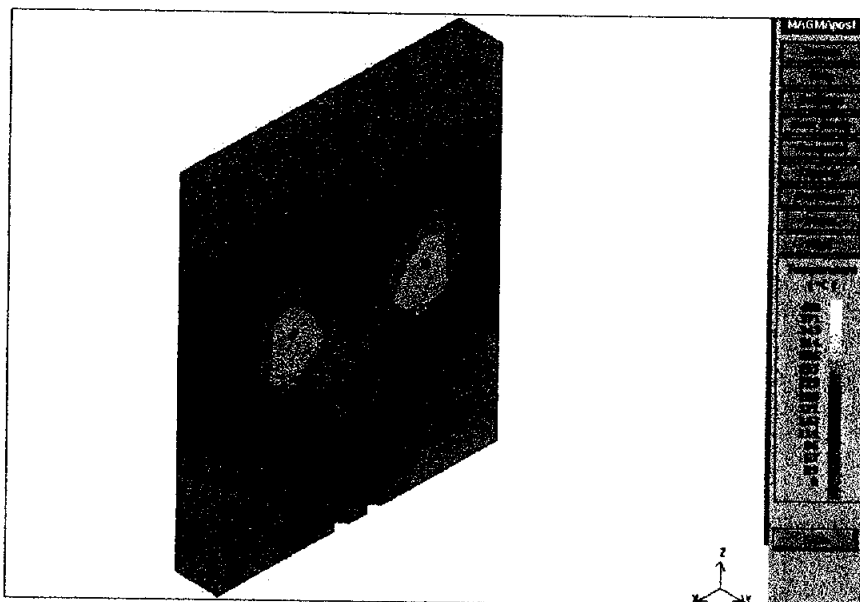


Fig. 32 Temperature distribution in the moving die

Table 6 Solidification rate according to elapsed time

Time (sec)	Solidification rate (%)
0.848	12.4290
1.3	20.3792
1.8	31.2431
2.3	40.0807
3.0	51.6646
3.6	60.0353
4.4	70.3268
5.4	80.3427
6.9	90.7958
8.0	95.0147
14.9	100.0000

5. 결론

본 연구에서는 자동차용 알터네이터 하우징 부품을 대상으로 고압 다이캐스팅(high pressure die casting)공정해석을 위하여 주조전용 마그마소프트웨어를 활용하여 주조공정 해석 및 제품결함을 예측하였으며, 이러한 범용해석 코드를 활용하여 캐비티내의 유동패턴의 가시화 및 응고양상을 금형설계전에 확인, 검증하므로써 주조제품의 결함예측과 수정방안을 마련할 수 있으며 이는 금형의 설계 및 수정의 용이함을 제공한다. 주조전용 상용 코드인 MAGMAsoft를 이용하여 자동차용 알터네이터 하우징의 유동 및 응고해석을 행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 고압 다이캐스팅에서의 제품결함 예측 및 분석을 할 수 있었다.
- 2) 전체적인 충전패턴은 일정한 흐름을 나타내었으며, 해석상에 나타난 충전 해석 결과와 플런저 전진 길이에 따른 제품의 충전패턴이 잘 일치함을 확인하여 해석결과의 신뢰성을 검증하였다.
- 3) Tracer particle을 이용하여 용탕충전의 경로를 추적한 결과 와류에 의한 충전 결함발생 가능성을 전산해석을 통해 예측하고 개선된 금형설계 방안을 적용하여 주조결함이 발생하지 않는 건전한 주조품을 생산하였다.
- 4) 인게이트의 응고 완료시간, 가압유지 조건, 냉각시간, 사출시간, 사출속도, 사출압 등 지금까지 경험과 단순 반복작업으로 최적화시켰던 주조방안과 금형설계를 전산해석에 의한 유동 및 응고해석으로 도출함으로써 결함의 원인규명과 대책방안의 수립에 의한 생산성 향상 및 설계 시간의 단축 등을 구현할 수 있었다.

참고문헌

1. S. H. Jeon, K. M. Cho, I. K. Park, "Development of Mg Metal Matrix Composites for Automotive parts", Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 20, pp. 224-229, 2000.
2. Naomi Nishi, "High Pressure Die Casting Process", Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 71, pp. 62-70, 1999.
3. K. S. Lee, N. D. Cho, "On the Development Trends of the Current Pressure Die Casting Process", Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 9, pp. 195-200, 1989.
4. Naomi Nishi, "Die Casting Technology of 21st Century", Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 73, pp. 32-33, 2001.
5. J. S. Kim, T. W. Lim, "Novel Techniques of High Pressure Die Casting", Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 18, pp. 228-233, 1998.
6. K. Y. Kim, "Recent Trends on the Application of Computer to Solidification Processing", Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 11, pp. 276-282, 1991.
7. J. K. Lee, J. K. Choi, C.P.Hong, "Numerical Analysis of Shrinkage Cavity Formation using the Modified Fluid Critical Solid Fraction Method", Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 18, pp. 555-562, 1998.
8. Ling Xial, Kouichi Anzai, Eisuke Niyama, Keiji Nakahara, "Reducing Shrinkage Defects at Hot Spots in Aluminium Squeeze Casting", Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 73, pp. 598-604, 2001.
9. Isamu Takahashi, "Introduction to Conventional Casting CAE System", Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 73, pp. 482-488, 2001.
10. C. G. Kang, Y. I. Son, Y. W. Youn, "Experimental investigation of semi-solid casting and die design by thermal fluid-solidification analysis", Jo

- urnal of Materials Processing Technology, 113, pp. 251-256, 2001.
11. Yukio Otsuka, "Optimization of Light-Weight Casting Design and Production by Application of CAE" , Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 67, pp. 868-874, 1995.
 12. Kimio Kubo, "Recent Progress in Solidification Simulation" , Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 73, pp. 634-642, 2001.
 13. C. C. Tai, J. C. Lin, "The optimal position for the injection gate of a die-casting die" , Journal of Materials Processing Technology, Vol. 86, pp. 87 -100, 1999.
 14. Koichi Anzai, "Introduction to Mold Filling Simulation" , Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 73, pp. 698-701, 2001.
 15. D. H. Lee, C. G. Kang, S. K. Lee, "Prediction Defect of Automotive Components by Filling and Solidification Analysis" , Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 20, pp. 159-166, 2000.
 16. Koichi Anzai, "Numerical Analysis Method for Transient Fluid Flow with Free Surface" , Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 64, pp. 410-416, 1992.
 17. M. R. Barone, D. A. Caulk, "Analysis of liquid metal flow in die casting" , International Journal of Engineering Science, Vol. 38, pp. 1279-1302, 2000.
 18. S. B. Kim, C. P. Hong, "Computer Simulation of Three Dimensional Fluid Flow in Mold Filling" , Journal of the Korean Inst. of Met. & Mater., Vol. 33, pp. 90-98, 1995.
 19. Yoshihiro Ageta, Jin Dong Zhn, Itsuo Ohnaka, "Two Dimensional Computer Simulation of Mold Filling by Using Orthogonal-Nonorthogonal -Mixed Elements" , Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 71, pp. 597-602, 1999.
 20. J. H. Jeong, D. Y. Yang, "Application of an adaptive grid refinement technique to three-dimensional finite element analysis of the filling stage in

- the die-casting process” , Journal of Materials Processing Technology, Vol. 111, pp. 59-63, 2001.
21. I. H. Choo, S. K. Yu, “The Application of Flow and Solidification Simulation in Manufacturing of Automobile AL Wheel” , Bull, I.I.S. Vol. 22-1 Jun. 1999 Keimyung University.
 22. Shinya Kano, Syouji Kiguti, Toshio Tanka, “Technologies for Thin-Wall Steel Castings by Application of CAE” , Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 67, pp. 875-879, 1995.
 23. J. K. Choi, S. B. Kim, C. P. Hong, “A Study on the 2-D Metal Fluid Flow Analysis by SMAC Method” , Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 12, pp. 40-50, 1992.
 24. B. H. Hu, K. K. Tong, X. P. Niu, I. Pinwill, “Design and optimisation of runner and gating systems for the die casting of thin-walled magnesium telecommunication parts through numerical simulation” , Journal of Materials Processing Technology, Vol. 105, pp. 128-133, 2000.
 25. C. H. Lee, J. K. Choi, T. W. Nam, “Analysis of the High Pressure Die Casting Process by Computer Simulation” , Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 20, pp. 400-406, 2000.
 26. Itsuo Ohnaka, “State of the Art of Computer Aided Engineering for Thin Wall Castings” , Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 67, pp. 862 -867, 1995.
 27. S. S. Park, “DIE CAST 現場技術” , 大新技術, 1984.
 28. N. J. Lee, “特殊 鑄造工學” , 普成文化社, 1986.
 29. SEROPE KALPAKJIAN, "Manufacturing engineering and technology", Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
 30. Wolfgang Maus, dipl.-ing. Hartmut Rockmann, Dipl.-ing. Rudolf Seefeldt, “Simulation as a tool in high pressure die casting processes” , MAGMASOFT User's Manual.

31. C. H. Lee, "A study on the die casting defect control by computer simulation" , Dept. of Met. and Mat. Science Eng. Hanyang Univ., 2000.
32. S. R. Gong, "The Special Die Casting Process Design and Analysis on Automotive Components" , Dept. of Pre. and Mech. Eng. Pusan Nat. Univ., 2001.
33. Hiroyuki Nomura, Kazuhiko Terashima, Koji Keishima, "Prediction of Die Casting Flow Behavior by Three Dimensional Simulation" , Journal of the Japan Foundrymen's Society, Vol. 63, pp. 425-430, 1991.

Abstract

Computer Simulation and Die Design of Alternator Housing for Automobile

Park, Jong-Bae

Dept. of Precision Mechanical Engineering,
Graduate School of Industry, Pukyong
National University.

The die casting process was used to manufacture an automotive motor housing. Generally automobile parts are required to be light and have high strength. The casting defects caused by molten metal are cold shut formation and air-trap. The control of casting defects is important but has usually been based only on the experience of the foundry engineer. Therefore simulations have been carried out on the die casting process of motor housing.

In this paper, I investigated the characteristics of the die casted motor housing with the HDPC(High Pressure Die Casting) process.

MAGMAsoft software was used for computer simulation code and the material used was ADC12(Aluminum Die Casting Alloy). I presented the results of filling behavior and solidification process of the cast. The analysis results obtained about filling behavior and solidification of cast agreed with test results.

Finally, I obtained flawlessly casted parts, optimum mold design and processing design.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 언제나 따뜻함과 진실함으로 부족한 제자를 위해 세심한 지도와 노고를 아끼지 않으시며 도와주시고 격려하여 주신 지도교수 한규택 교수님께 진심으로 머리 숙여 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 일정에도 부족한 저의 논문을 세심하게 검토하고 심사하여 주신 오명석 교수님과 정영득 교수님께도 감사를 드립니다.

또한 2년 남짓한 기간 동안 많은 가르침을 주신 심성보 교수님, 김병탁 교수님, 윤문철 교수님께도 감사를 드립니다.

본 논문을 위하여 여러 가지로 관심과 많은 도움을 주신 (주)삼영 M.T의 정원영 사장님과 정현철 과장님께 고마움을 전합니다.

길다면 긴 몇 개월 간의 논문 작업이 진행되는 동안 굳은 일도 마다 않고 진심어린 수고를 하여준 후배 찬용을 비롯한 영석 등 도움을 준 여러 후배에게도 고마움을 전합니다.

오늘의 결실을 위하여 지금까지 부족한 저를 희생과 사랑으로 보살피 주신 존경하고 사랑하는 저의 부모님과 누나에게 이 논문을 바칩니다. 그리고 앞으로 더욱 더 열심히 노력할 것을 다짐합니다.

2002. 06. 17. 박 종 배