

|||||||
論 文
|||||||

수치해석에 의한 고압다이캐스팅용 금형설계 및 주조공정해석

이창호 · 최재권* · 남태운

Analysis of the High Pressure Die Casting Process by Computer Simulation

Chang-Ho Lee, Jae-Kwon Choi* and Tae-woon Nam

Abstract

Computer simulation for the predictions of casting defects is very important to produce high quality castings with less cost. Complicate shaped Al solenoid housing part was selected to be cold chamber die cast and a numerical simulation technique was applied for the optimization of the chill vent position and gating. A first design led to insufficient central flow. This flow left the last filled areas falling into the inner portion of the part. And last filled area did not fit the chill vent position. So these resulted in a high possibility of air entrapment in the casting and the design was not proper for the part. The design was improved by using a proper gating system, a more chill vent and proper overflow positions. New design provided a homogenous mold filling pattern and the last filled areas that being located at the overflow and chill vent. Casting plan which produce good quality solenoid housing part was established by using the computer simulation. (Received November 15, 2000)

1. 서 론

다이캐스팅은 복잡한 모양의 부품을 만드는데 경제적인 주조 방법 중의 하나로서, 자동차, 항공기부품 및 전자부품의 제조 등에서 높은 치수안정성과 낮은 제조 단가 등을 그 특성으로 들 수 있다. 현재 세계화 된 국제 경쟁상황에서 다이캐스팅업계에서는 제품 개발기간 및 생산 원가의 단축, 고품질을 요구 받고 있으며, 최근 대두되고 있는 주조 CAE(Computer Aided Engineering) 기술은 이러한 요구사항을 만족시킬 수 있는 가장 효과적인 방법으로 각광을 받고 있다.[1-3] 이러한 주조수치해석 방법은 1980년대 초반에 도입되어 주조작업자들이 주물의 용탕충진 및 응고현상을 평가하는데 사용함으로써 고품질의 주물을 생산할 수 있게 하고 있다.

본 연구에서는 주조전용 상용 해석 tool인 MAGMASOFT를 이용하여 수치해석이 주조 엔지니어에게 주물품의 회수율 및 품질향상에 어떻게 도움이

되는가에 대하여, 실레인 solenoid housing을 이용하여 기술하였다. 고압다이캐스팅 제품인 solenoid housing은 자동차용 연료제어장치에 사용되는 중요 부품으로 제품의 기밀성 및 치수정확도가 요구되는 부품이다. 이에 solenoid housing 부품 주조의 최적화를 위해, 수치해석을 통해 용탕유동, 열 전달 등을 관찰하고 그 결과를 분석하였으며, 해석결과를 바탕으로 결함의 발생원인을 조사하여 그 대처 방안을 설계하였다. 또한 실제 다이캐스팅에서의 결과를 비교 조사하여, CAE 기술을 통한 주조해석기술의 확립 및 주조공정 최적화를 연구하였다.

2. 주조해석 방법

Fig. 1에서 solenoid housing의 실제품을 나타내었다. 제조시 고압다이캐스팅공정을 사용하였고, 이때 350 ton의 cold chamber 다이캐스팅기를 사용하여 주조하였으며, 주조해석방법은 Fig. 2에 나타내었다.

한양대학교 금속재료공학과(Dept. of Metallurgy and Material Science Eng., Hanyang Univ.)
*CIES (주) CAE 사업부 (CIES Co.)

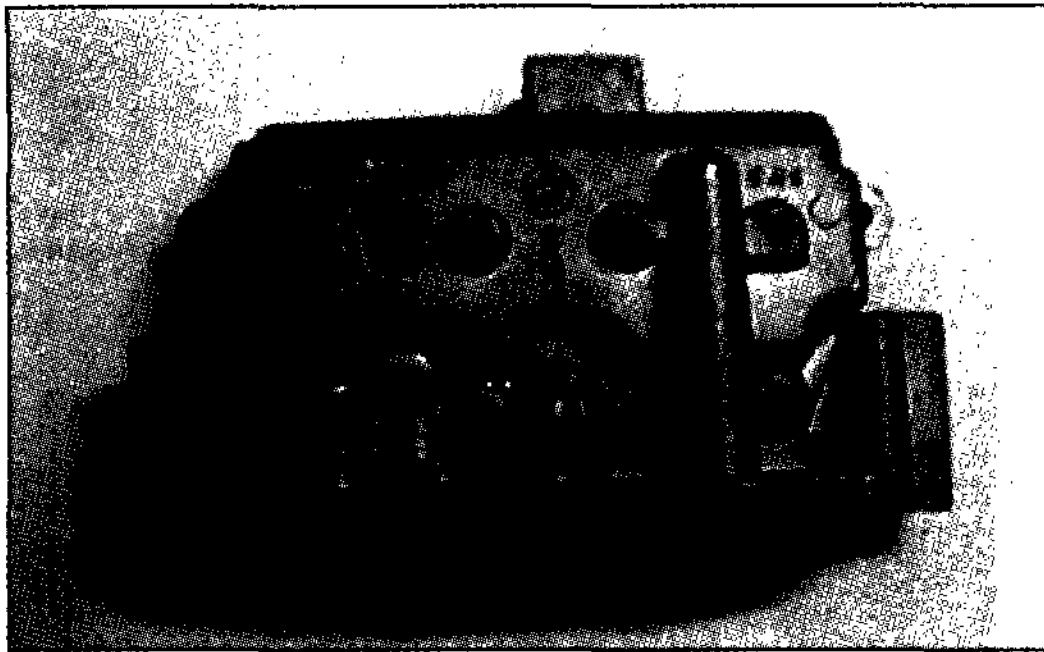


Fig. 1. Solenoid housing cast.

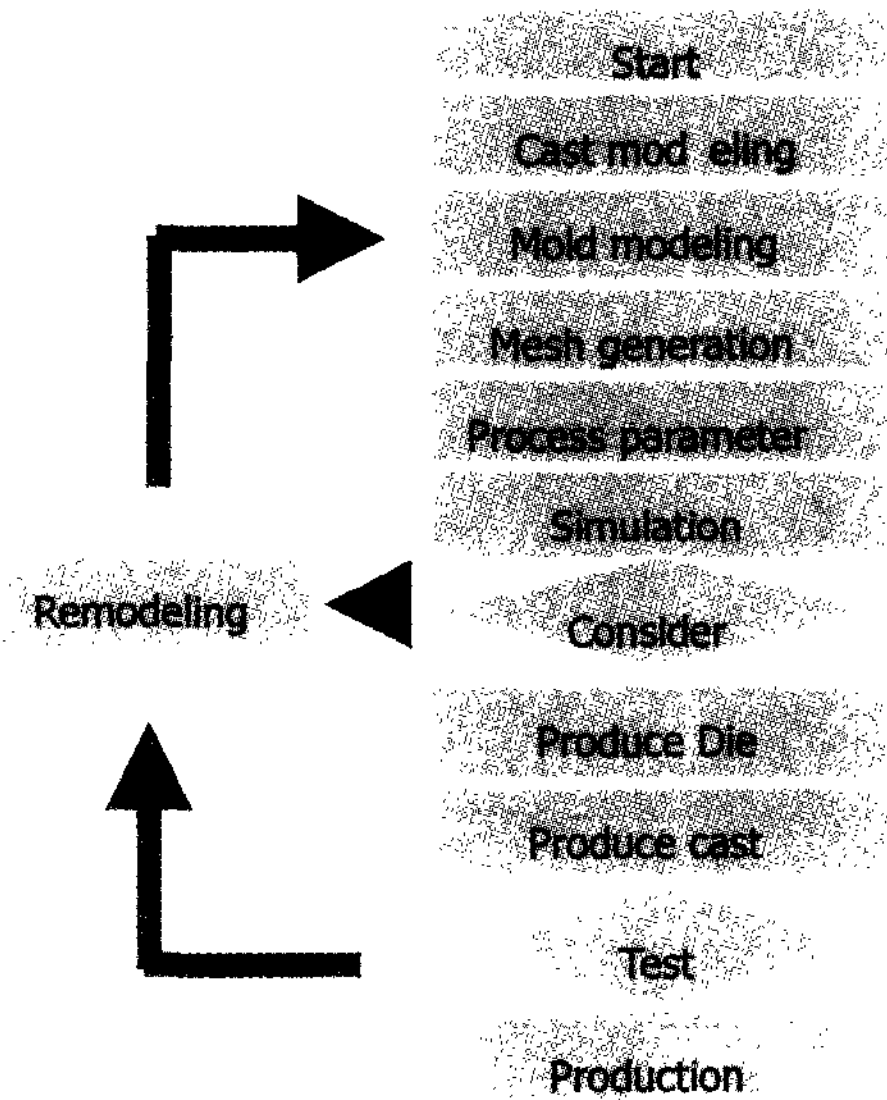


Fig. 2. Process chart.

2.1 전처리 및 요소분할

Solenoid housing 의 형상모델링은 3D-CAD를 이용하였고, 모델링 후 STL file로 변환후 data interface 및 금형 modeling을 통해 전처리 공정을 행하였다. 또한 주조공정에서의 금형온도의 변화를 관찰하기위해 가상의 열전대를 20 point에 설정하였으며, 용탕충진의 충전관찰을 용이하게 하기위해 particle tracer를 설정하여, 미세한 용탕충진거동을 관찰하고자 하였다. 또한 요소분할은 FVM방식에 의한 수직좌표분할기법을 이용하였고 해석에 이용된 전체 요소분할 수는 12,000,000이다.

2.2 해석조건

2.2.1 재질 선정

Solenoid housing의 제조 시, 재질은 ADC10 (Al

Table 1. Material data

	Casting	mold	cooling
	ADC10	SKD61	water
Initial temp.	660°C	30°C	30°C
Heat capacity	910 J/Kg	600	4180
Density	2570	-	-
Latent heat	479.2 J/g	-	-
Heat transfer coefficient	100 W/m ² K	26	0.6
Liquidus temp	580°C	-	-
Solidus temp	520°C	-	-

alloy), 금형은 SKD61로, 냉각은 수냉을 사용하였다. 또한 해석 시 금형의 열적 안정을 고려하기 위해 7cycle의 응고해석을 우선적으로 수행 후 8cycle에서 충전 및 응고해석 결과를 분석하였다. Table 1에 해석에 사용된 각각의 재질에 대한 physical material properties를 나타내었다.

2.2.2 경계조건

주조해석 시 이종 재질간의 열 전달 해석은 매우 중요하다. 응고과정 중 열전달에 있어 이종재질 또는 분리된 재질간에는 서로 다른 열전도도에 의한 열 저항치와 불완전 접촉에 의한 thermal contact resistance가 있으며[4], 이는 압력, 온도, 표면 상태에 의존하여 변하는 값이다[5,6]. 특히 용탕과 금형간의 heat transfer coefficient는 주조해석에 있어 중요한 인자로, 본 해석에서는 온도에 의존하는 값을 사용하였고, Fig. 3에 나타내었다. Table 2는 각 재질간의 Heat transfer coefficient 값이다.

2.2.3 충전해석 조건

고압 다이캐스팅에서 filling condition은 매우 중요

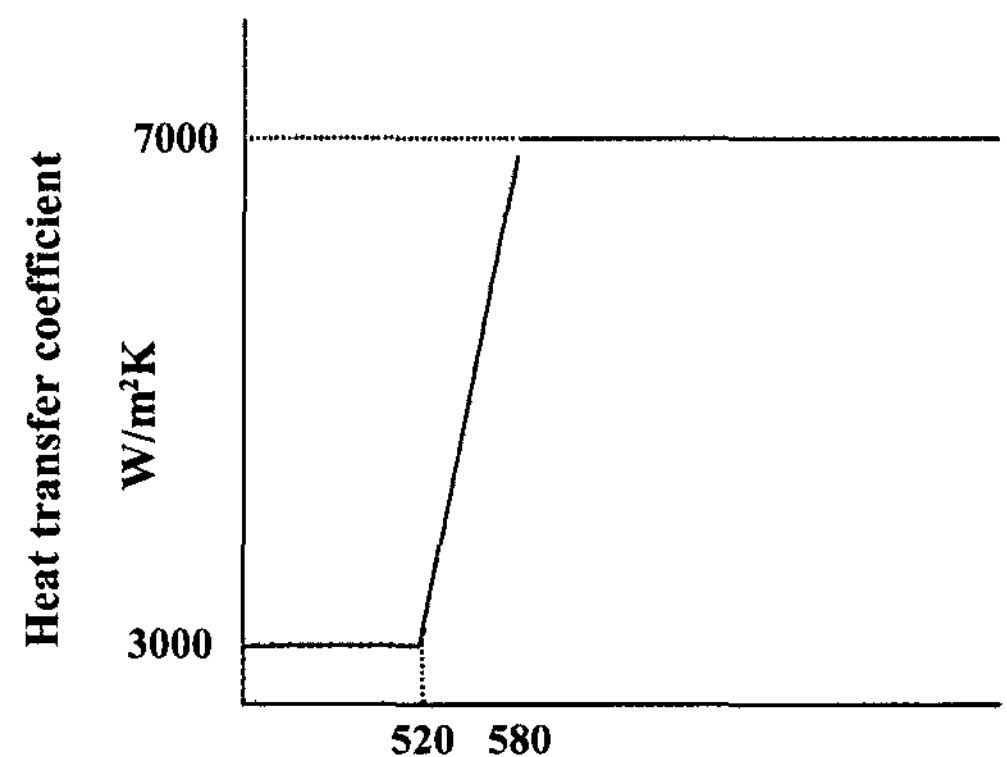


Fig. 3. Heat transfer coefficient between cast and mold.

Table 2. Heat transfer coefficient

Interface	Heat transfer coefficient (W/m ² s)
Mold-mold	5000
Mold-spot cooling	2000
Mold-channel cooling	3500
Mold-cast	Temperature dependent

Table 3. Cycle time

	Classification	Condition	
Cycle time	Moving die	12.9sec	
	Open time	Slice core	14sec
		Eject	16sec
	Close time	Die & core	36sec
Colling time	Start	0sec	
	End	42sec	
Spray	Start	22.9sec	
	End	26.9sec	
Coating	Start	26.9sec	
	End	28.9sec	

한 요소로서, 주조 품질에 가장 큰 영향을 미치는 인자이다[7]. 고압다이캐스팅에서는 ingate까지는 저속으로 주입되고, 이후 절변하여 고속으로 주입된다.

2.2.4 Cycle time

실제 다이캐스팅 조업에서는 초기 금형의 온도는 상온에서 조업을 시작하여 금형의 온도를 높이기 위하여 수번의 사탕작업을 한다. 따라서 실제 조업시의 금형온도에서의 주조해석을 실시하기 위하여 수cycle 후에서의 충전 및 응고해석을 하였다. 총 cycle time은 42 sec로서 Table 3과 같이 형체, 사출, 형개, 제품취출, spray, 등의 공정변수로 cycle time이 정의된다.

3. 결과 및 고찰

주물에서 나타나는 주요결함의 원인들은 특성별로 분류하자면 금형의 기계적인 문제, 용융금속의 문제, heat flow에 의한 결함, 용탕의 흐름으로 인한 결함으로 분류할 수 있다. 하지만 용탕이 신속하게 충전되어 heat flow의 영향이 적은 다이캐스팅 주조법에 있어서 주조결함의 85%가 용탕의 흐름에 의한 것으로 보고되고 있다[8,9].

Solenoid housing의 주조해석 시 초기방안인 1차 방

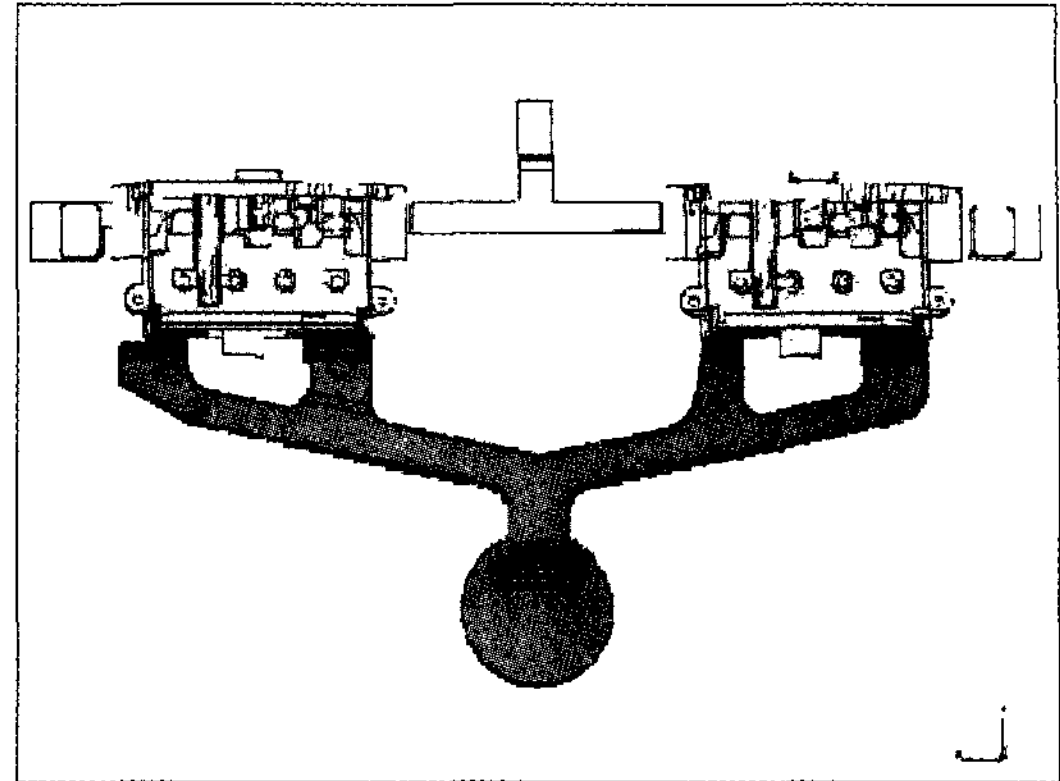


Fig. 4. Enmeshed solid model of runner and gating system with casting.

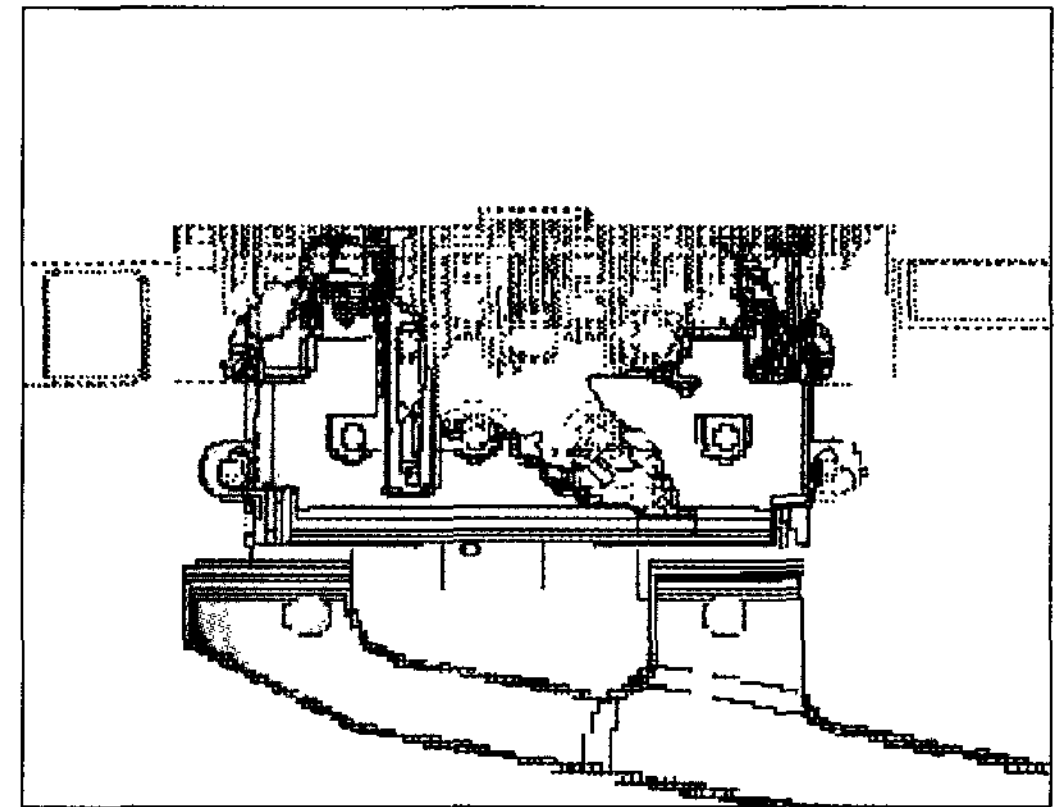


Fig. 5. Melt flow in casting.

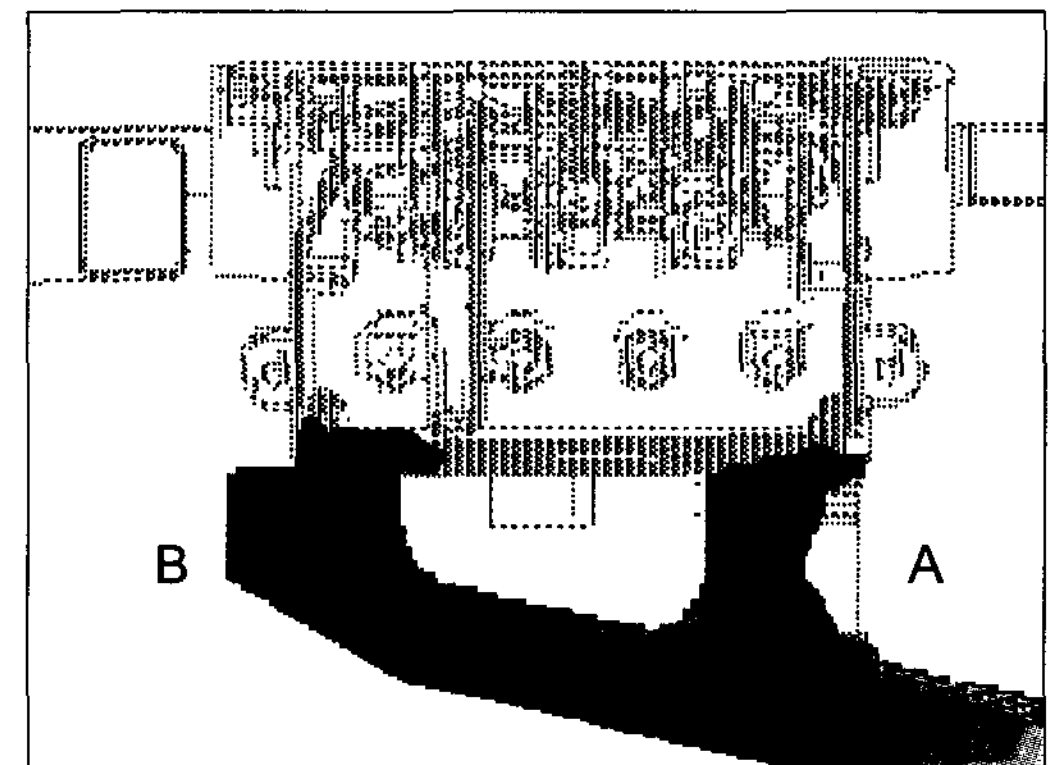


Fig. 6. Melt flow in runner.

안에서 나타나는 주조결함의 원인을 분석하였고, 그 대책으로 2차 및 3차 방안에 대한 주조해석을 통해 제품 부내에 주조결함이 발생하지 않는 건전한 주조품을 생산하였다.

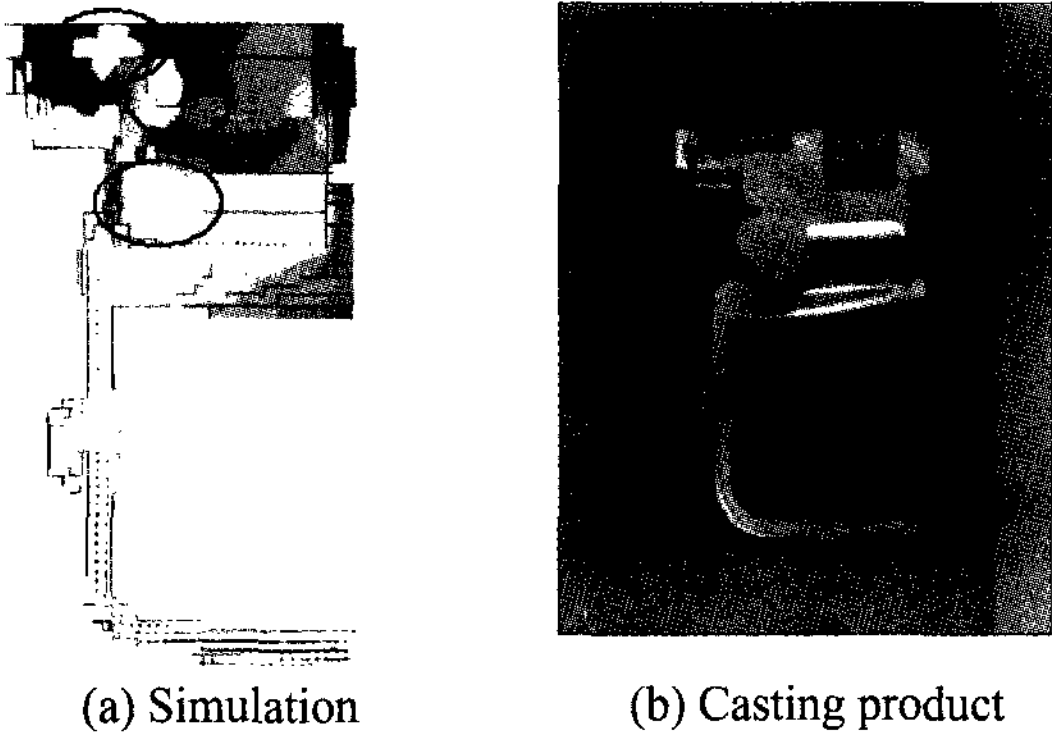


Fig. 7. Filling pattern.

3.1 1차 방안에서의 해석결과

3.1.1 충전해석

Solenoid housing을 고압다이캐스팅으로 주조하기 위한 탕구 방안은 Fig. 4 와 같이 설계하였다. 충전거동은 후처리 기법을 이용하여 용탕을 투시적으로 관찰하였고, 충전 과정중의 온도분포를 살펴보았다. Fig. 5에서와 같이 전체적인 용탕거동은 하부에서 상부로 순차적인 충전이 아닌, 제품의 양측면에서 우선적으로 충전이 이루어지며, 제품의 중심부에서 최종 충전이 이루어지는 것을 볼 수 있다. 따라서, 이 부위에 고립된 air가 포집 되어 air porosity가 발생할 것으로 판단된다. 또한 runner 부위에서의 충전거동은 Fig. 6과 같이 A 부분 runner가 100% 충전 되지 않은 상태에서, B 부분 runner에서 제품부로 용탕이 들어가는 것을 볼 수 있다. 즉 runner 부에서 용탕의 충전이 균형적으로 일어나지 않고 있음을 판단할 수 있다. Fig. 7에서는 제품의 중심부 단면에서의 용탕충진 거동으로서 원으로

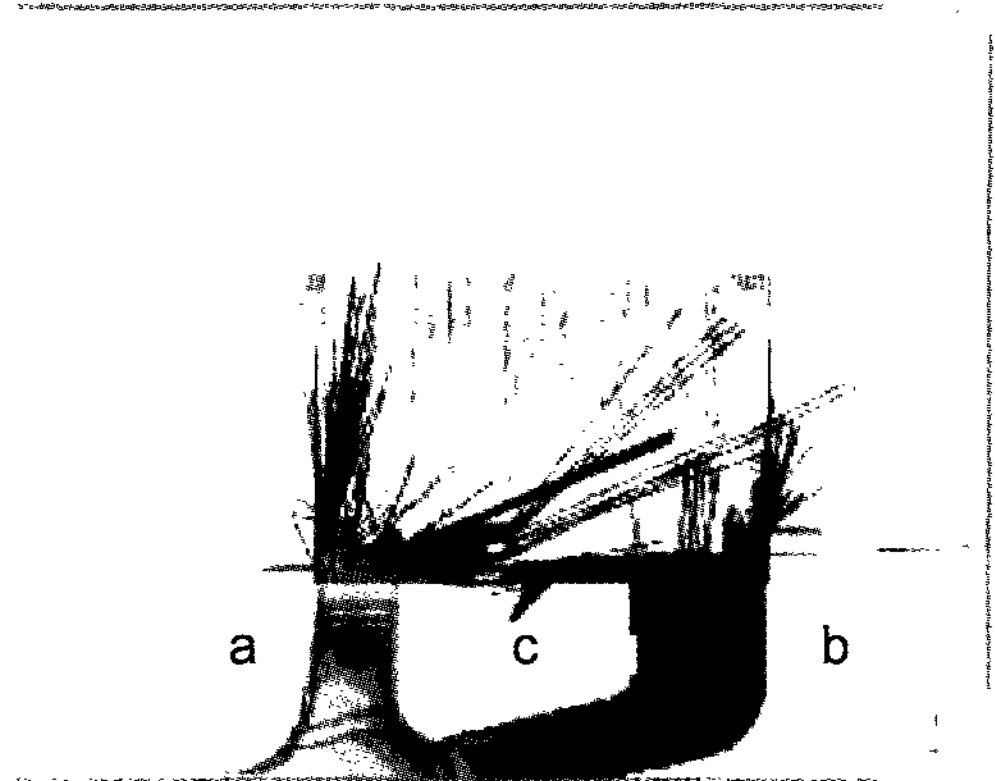


Fig. 9. Velocity vector in ingate.

표시한 부분에서 고립된 air에 의하여 porosity가 발생할 것으로 판단되었으며, Fig. 8에서는 제품 측면 overflow 부근에서의 용탕 충전거동이다. 용탕의 충전은 제품부를 다 채운 후, 최종으로 overflow를 채우는 순차적인 흐름을 보이지 않으며, 원으로 표시한 부분에서 고립된 air가 나타남으로 미세기공이 예측되었으며, Fig. 7(b), 8(b)에서와 같이 실 주조 제품을 절단한 결과, 이러한 부분에서 주조 결함을 확인 할 수 있었다. Fig. 9에서는 초기 충전 시의 용탕의 속도 벡터를 나타내고 있다. 1차 방안에서 용탕은 a 부분에서 3000-4000 cm/sec 의 고속으로 왼쪽 측면에서 우선적으로 충전되고, b 부근에서는 1000 cm/sec 정도의 속도로 충전되며, 중심부(c 부분)에서는 속도벡터가 50 cm/sec 이하로 작은 것으로 볼 때, 유동이 원활하지 않은 것으로 보인다. 이는 main runner에서 나오는 2nd runner가 짧고, 각진 형태이기 때문에 용탕의 흐름이 runner에

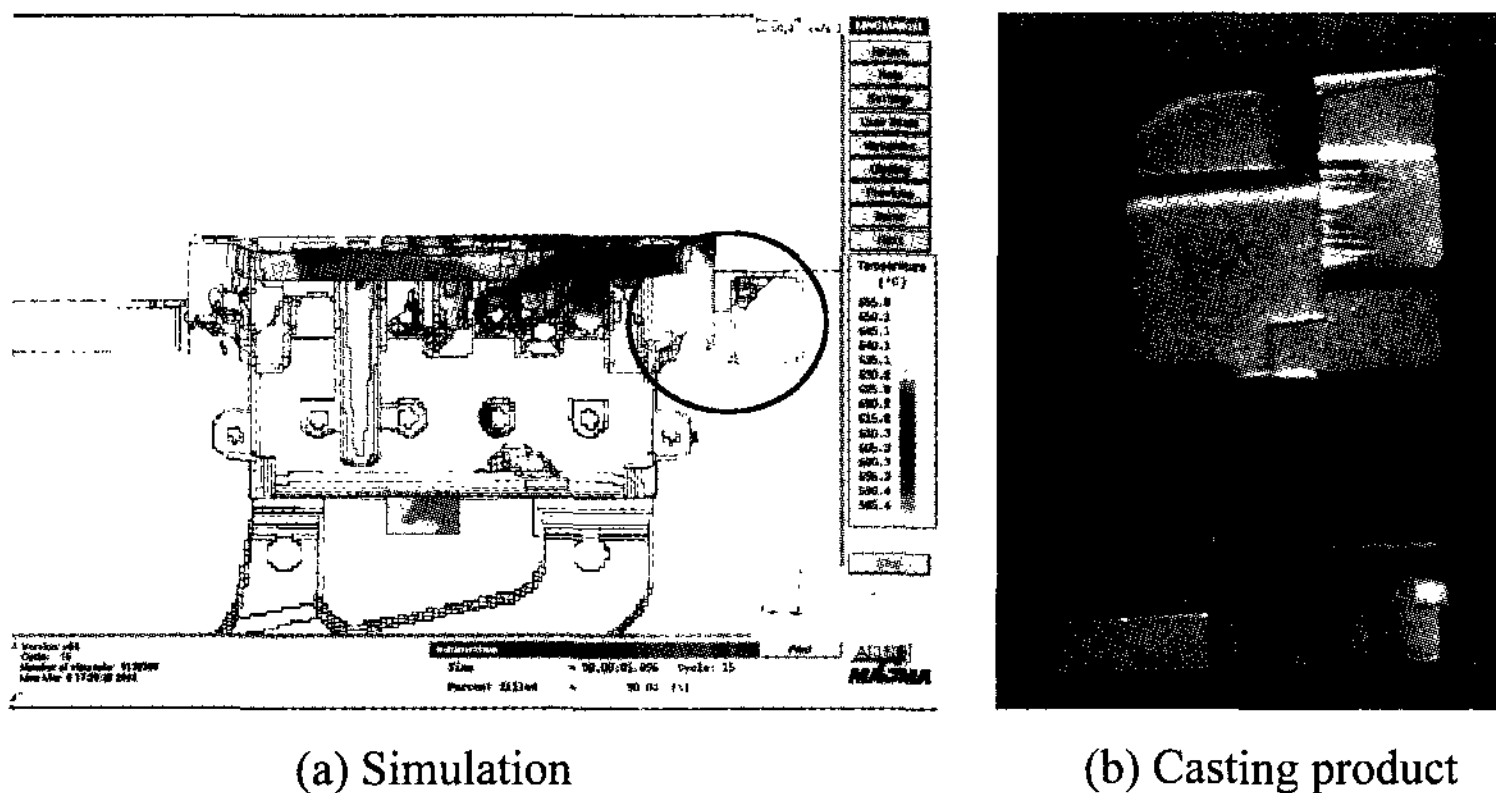


Fig. 8. Filling pattern near the overflow.

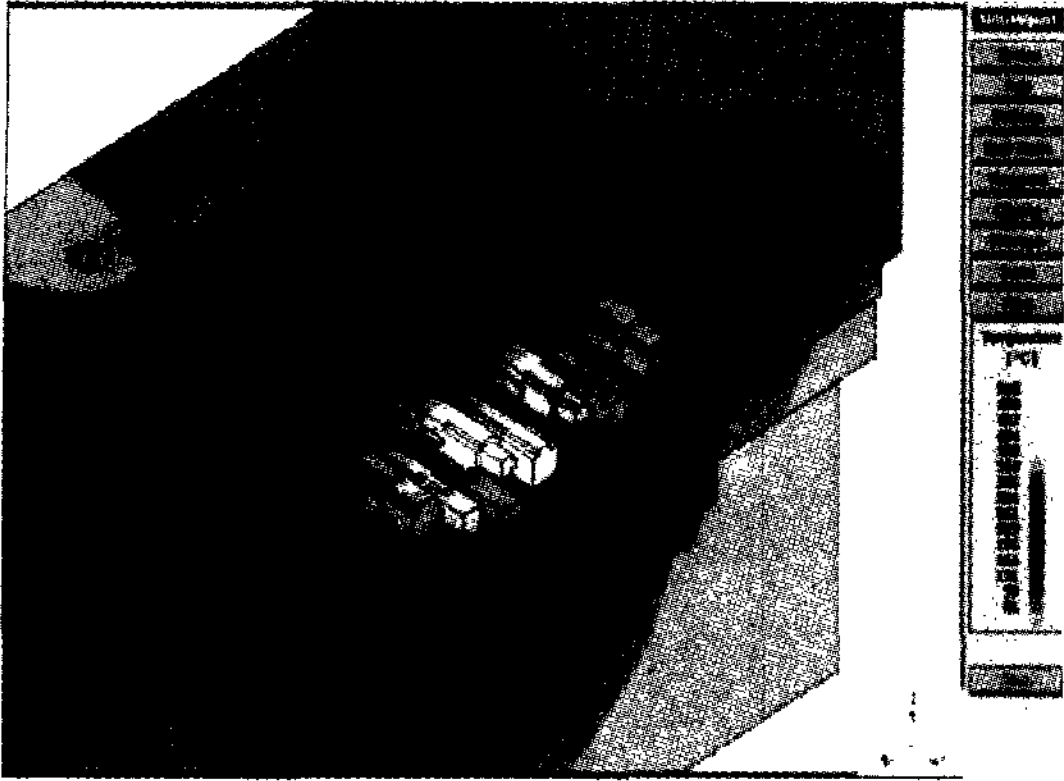


Fig. 10. Temperature distribution in core pin.

의해 방해를 받아 Fig. 9에서의 화살표와 같이 ingate에서 제품 바깥쪽으로 향하려는 경향 때문으로 판단되며, particle tracer를 통하여 재확인할 수 있었다. 따라서 용탕 충전 시의 흐름을 제품중심부에서도 균일하게 일어날 수 있도록 runner의 형상을 변형시켜야 될 것으로 판단된다.

3.1.2 응고해석

Fig. 10은 가동금형의 온도분포를 나타낸 것이다. 8th cycle에서 제품 취출시(16 sec)의 온도로서 코아핀의 온도는 400°C 이상의 고온을 나타내고 있다. 일반적으로 금형주조시, 금형부에서 국부적인 열 집중부가 발생하여 400°C 이상의 고온을 나타낼 때, 제품 취출시에 소착현상이 발생되며, 해석결과 core pin의 열 집중에 따른 소착현상이 예측된다. 이러한 소착현상의 제거를 위해서는 추가적인 spot cool의 설치를 통한 core pin 부의 국부냉각이 필요할 것으로 판단된다[10].

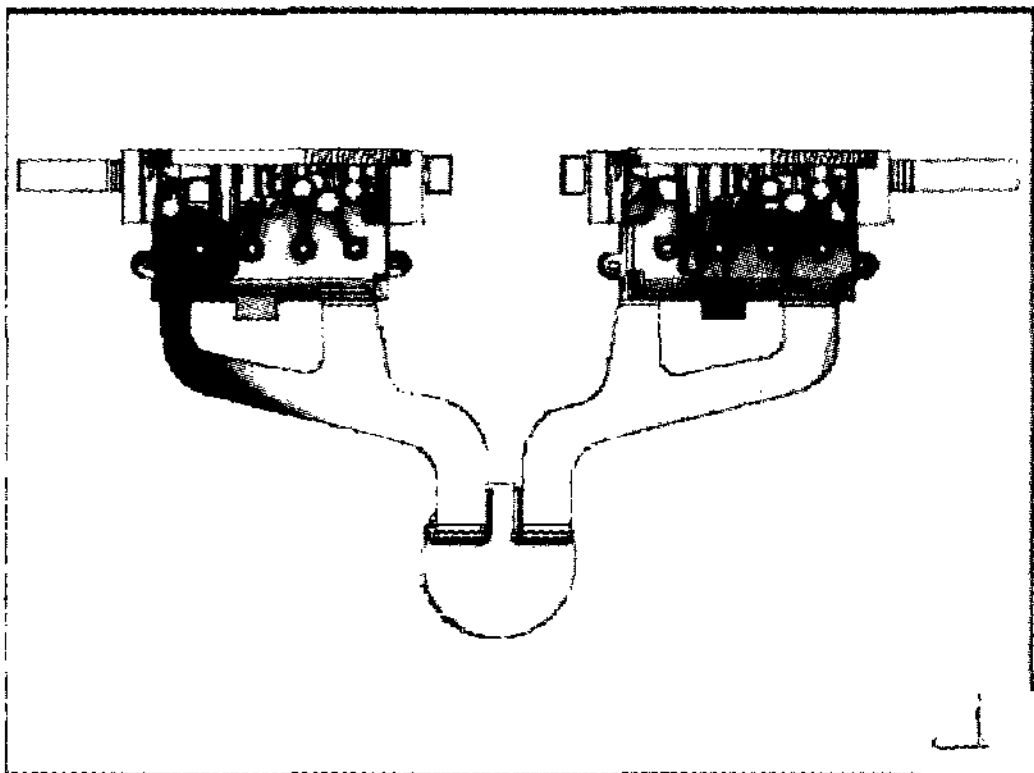


Fig. 11. Filling pattern in 2nd design.



Fig. 12. Velocity vectors in ingate.

3.2 2차 주조방안

1차 주조방안에서 나타나는 결함을 제거하고자 다음과 같이 방안을 설계하였다. 1) 용탕의 흐름이 원활히, 그리고 균형있게 하고자, 각 cavity 별로 runner를 설계하고, 유선형태를 갖게 하였고, 2) 효과적인 overflow의 역할을 위해 양측면에 각각의 chill vent를 설치하였다. 바뀐 runner의 형상은 cavity 사이의 거리를 근접시켜, runner가 주입되는 각이 1차방안에 비해 크게 설계하였고, 2차 가지 runner의 길이를 늘려 용탕이 cavity에 수직으로 충진이 이루어지게 하였다. Fig. 11은 2차 주조방안에서 용탕의 충전거동이다. 용탕은 1차 방안과 달리 제품중심부와 측면이 동시에 충진이 이루어지고, 하부에서 상부로의 순차적인 충진이 일어나 1차 방안에서 나타나는 제품중심부에서의 가스포집에 의한 결함은 제거가 가능할 것으로 판단된다. Fig. 12는 2차 방안에서의 용탕충진 속도 벡터이다. 2차 방안에서 용탕은 제품중심부로 향하려는 속도벡터가 150~200 cm/s로 강

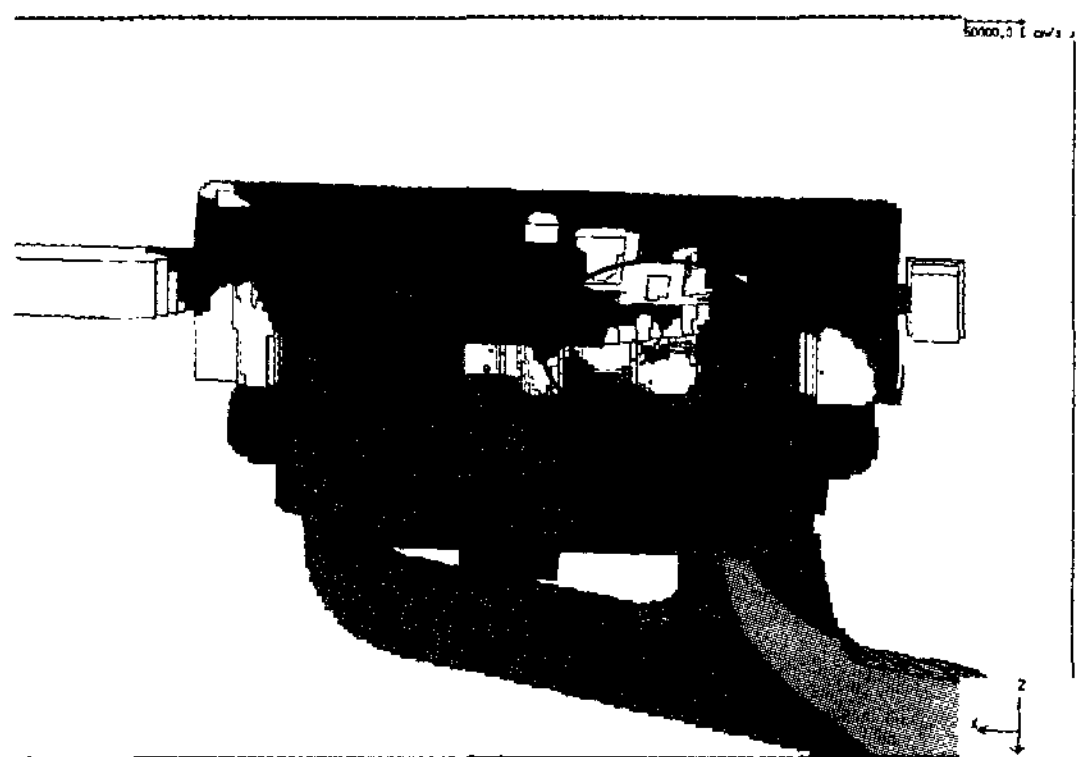


Fig. 13. Filling pattern near the chillvent (2nd model).

하게 나타나고 있다.

따라서 용탕의 충전은 중심부도 균일하게 나타나고 있음을 보여주고 있다. Fig. 13에서는 용탕이 최종 충전 되는 구역을 나타내고 있다. 측면 chill vent 부근에서는 chill vent의 위치가 높아서 원으로 표시된 곳과 같이 chill vent가 먼저 충전되어 고립된 air에 의한 주조 결함이 판단되며, 원으로 표시한 부위에서 용탕이 최종 충전 되는 것을 보여주고 있다. 따라서 이 부분에서 추가적인 overflow를 설치해야 함을 알 수 있다.

3.3 3차 주조방안

3.3.1 충전해석

3차 주조방안에서는 2차 방안에서 나타나는 결함을 없애고자 chill vent와 over flow의 위치를 최종 충전 부로 이동하였고, 제품의 중심부쪽에 2개의 over flow

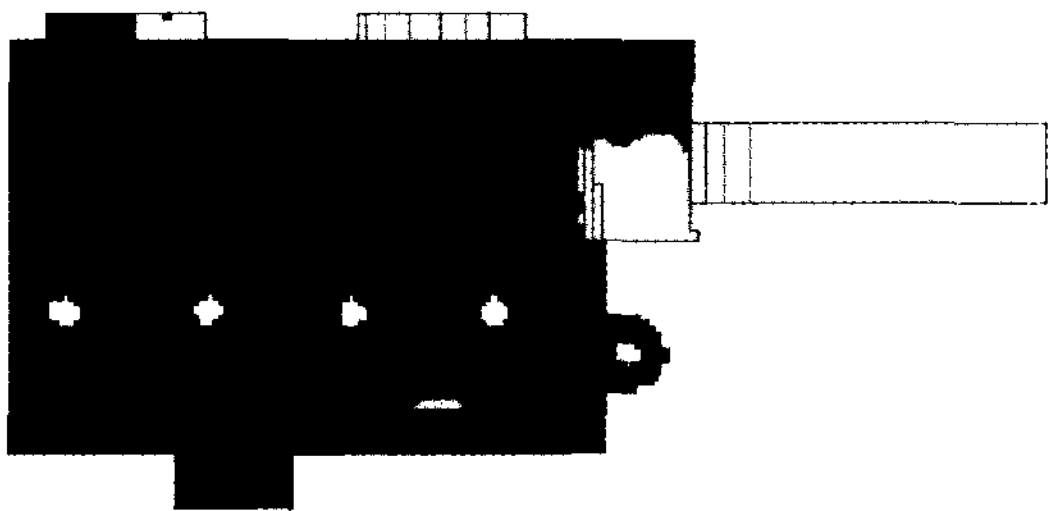


Fig. 14. Filling pattern near the chill vent (3rd model).

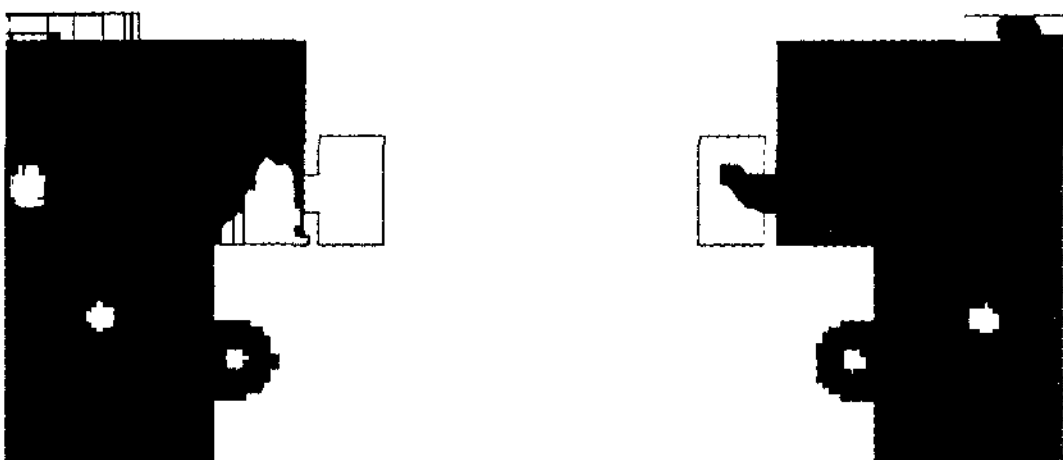


Fig. 15. Filling pattern near the over-flow(3rd model).

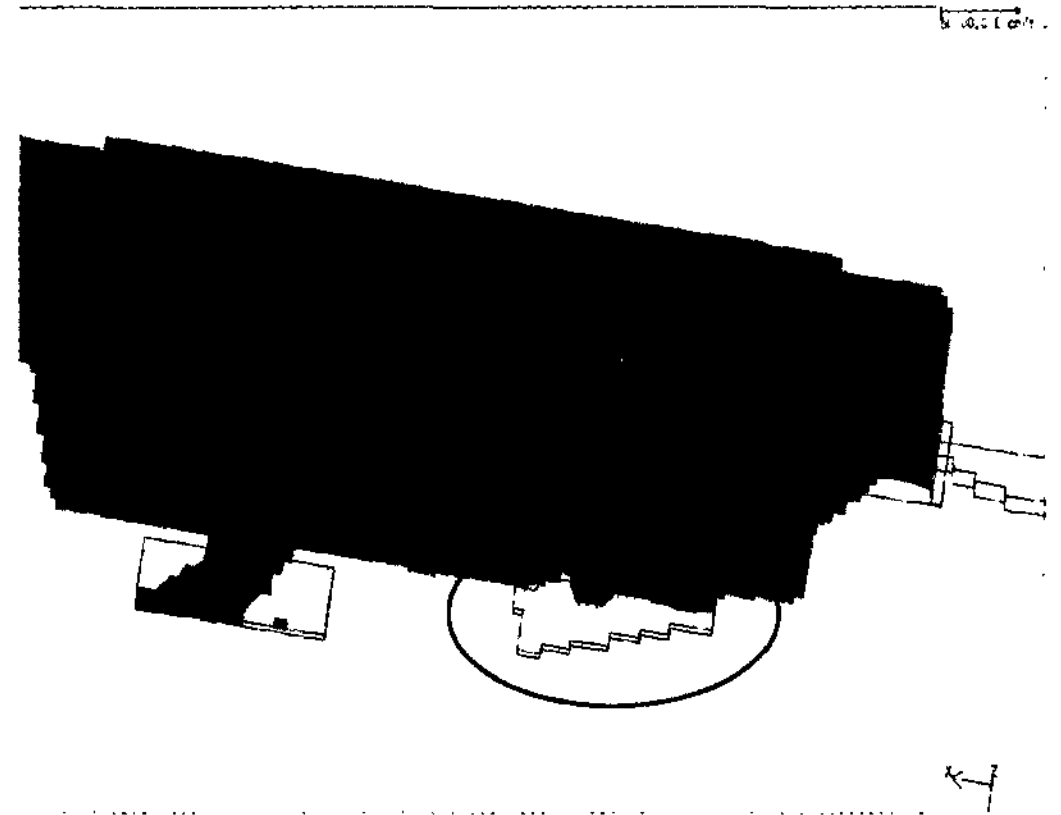


Fig. 16. Filling pattern near.

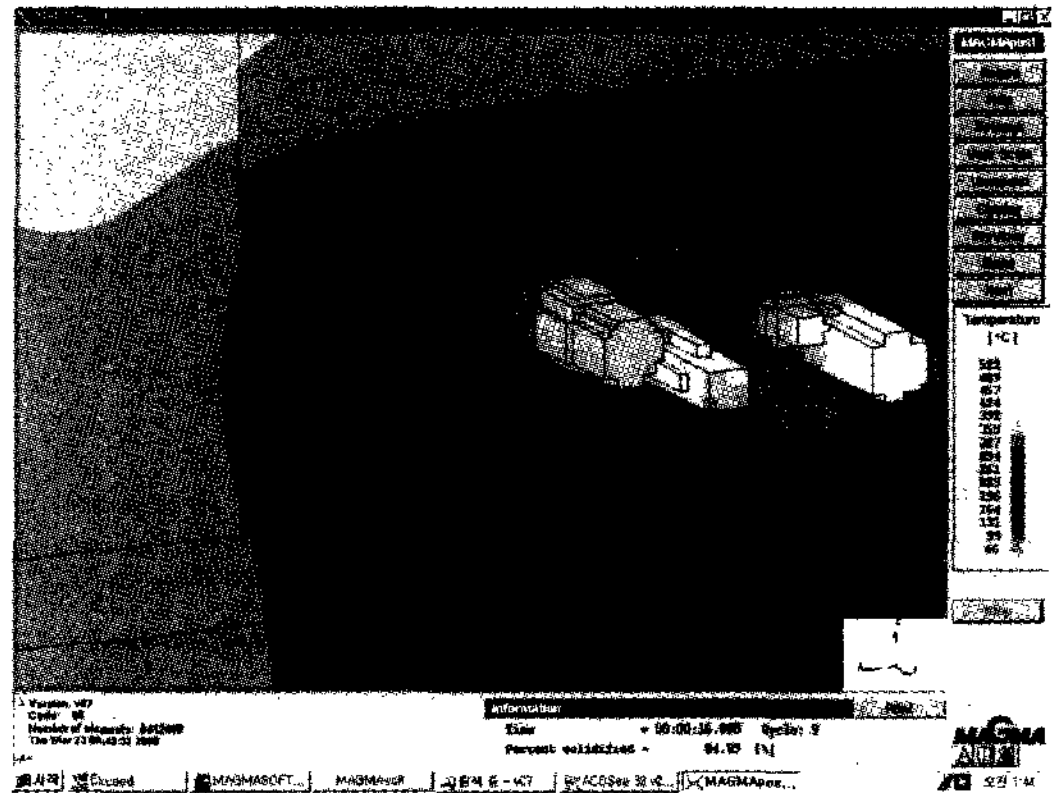


Fig. 17. Temperature distribution the overflow in core pin.

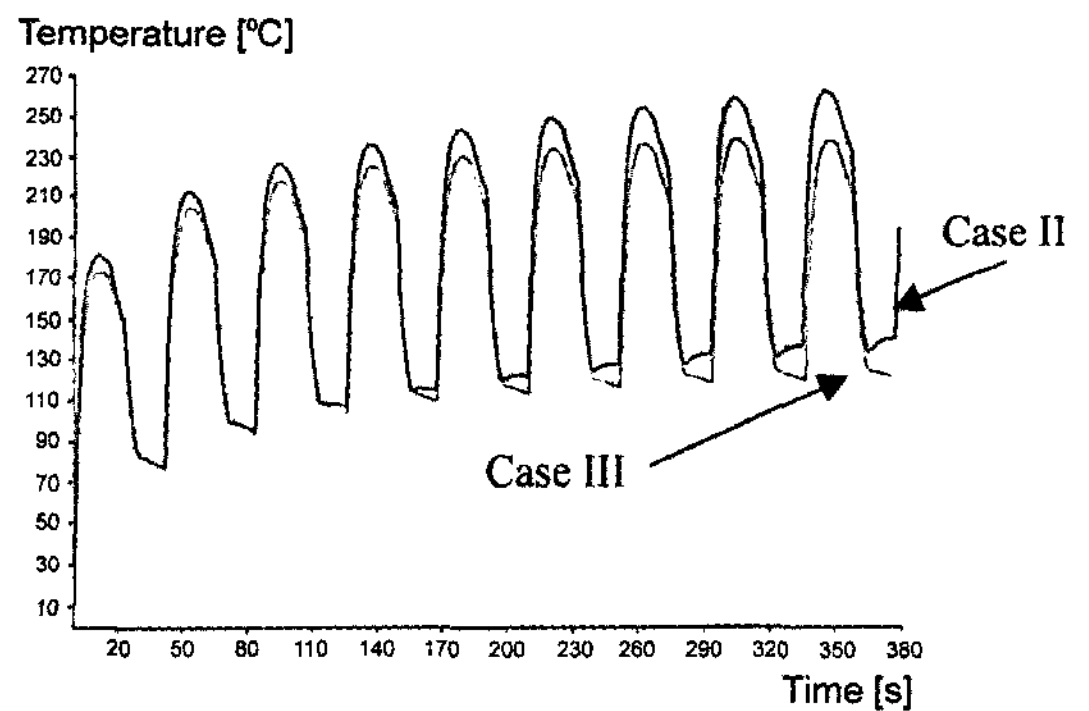


Fig. 18. Temperature profile in topcore.

를 추가적으로 설치하였다. Fig. 14에서는 제품 측면 chill vent 부근에서의 용탕 충전거동으로서, chill vent를 낮춤으로써 제품에서 chill vent로의 순차적인 충전이 이루어짐으로 이부위에서 예상되었던 air porosity는 제거될 것으로 판단된다. Fig. 15는 제품 측면

overflow 부근에서의 용탕 충전거동으로써 용탕 충전이 제품에서 overflow로 이루어 짐을 알 수 있다. Fig. 16은 제품 상부에서 관찰한 최종 충전 구역이다. 다음과 같이 overflow를 설치한 부분에서 최종용탕이 충전되는 것을 볼 수 있으며, overflow에 의하여 air가 많이 혼입된 용탕을 제거 할 수 있을 것으로 보였다.

3.3.2 응고 해석

Fig. 17은 제품 취출시의 온도분포로서 가동 금형의 코아핀 온도는 추가적으로 설치한 spot cooling channel에 의하여 1차 해석에 비해 온도가 하강되었음을 알 수 있다. 따라서 금형의 열집중현상에 의해 나타나는 소착현상을 방지할 수 있을 것으로 판단 되었다. Fig. 18에서는 상부 가동금형의 시간에 따른 온도 분포를 나타내고 있다. 2차 방안의 경우에는 15cycle 이상에서 금형의 안정화가 이루어 지고, 3차 방안에서는 6cycle에서 안정화가 이루어지는 것을 볼 수 있다. 따라서 금형안정화에 따라 금형의 노후화 및 스크랩의 양을 줄일 수 있을 것으로 판단이 된다.

4. 결 론

solenoid housing 제품을 고압다이캐스팅법으로 제조하기 위한 주조해석을 하였으며, 해석을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 고압 다이캐스팅에서의 제품결함 예측 및 분석을 할 수 있었다.

2) 생산현장에서 적용하는 조건을 바탕으로 충전 및 응고 해석을 한 결과 충전거동에서의 문제점 및 원인을 파악할 수 있었다.

- Chill vent와 over flow의 위치 선택잘못으로 결함을 발생시켰다.

- 런너의 형상에 의해 불균일한 충전이 발생하였다.

- 가동다이의 온도해석결과 국부적으로 고온지역이 나타나므로 수축공과 소착형상이 발생할 것으로 예상되었다.

- 상부 다이의 열적 안정화가 축열에 의하여 증가함을 예측하였다.

3) 주조해석과 시험 주조품 분석을 통하여 주조 결함의 원인 및 결함제어를 위한 개선 방안이 확립되었다.

- 런너의 적정성 여부

- 오버 플로우 와 칠벤트의 위치 적정성

- cooling channel 의 적정성 여부

- 금형의 thermal balance

References

[1] ZHANG Weishan, XIONG Shoumei, LIU baicheng "Study on a CAD/CAE System of Die casting" Journal of Materials processing technology 63 (1997) 707-711

[2] J. Szekely and A. S. Jassal, Metall. Trans, 9B (1978)389.

[3] J. Cambell, Mat. Sci. & Tech, Vol. 17 (1991) 885.

[4] J. P. Holman "heat transfer" 7th edition

[5] D. G. R. Sharma, M. Krishnan, "Simulation of Heat transfer at casting meta'-mold interface" AFS Transactions, 1991 429-438

[6] Y. Nishida, H. Matsubara; "Effect of pressure on heat transfer at the Metal-mold casting interface," British foundryman, Vol. 69. p274-278 (1976)

[7] LW Garber, "theoretical analysis and experimental observation of air en rapment during cold chamber filling, Die casting Eng. 24(1) (1980)24-26

[8] E. Niyama and K. A izai ; Material process vol. 34, No. 3 1993.

[9] Y. Yamamoto, Y. Iw: ta and M. Nakamura; Imono. Vol. 60 1988, p.770-776.

[10] S. M. Lee, Y. C. Lee J. K. Choi, C. P. Hong; J. of Korean Foundrymen's Societ y, Vol. 18, No. 2, P.190.

[11] B.H.Hu, K.K. Tong, X.P. Niu, I. Pinwill; Journal of Materials Processing Technology 2000 Vol. 105 p.128-133