Transactions of KSAE, Vol. 17, No. 3, pp.45-53 (2009)

Copyright © 2009 KSAE
1225-6382/2009/099-07

내열마그네슘 합금을 이용한 자동차용 오일팬의 다이캐스팅 공정 연구

신 현 우[*1] · 정 연 준[2] · 강 승 구[3]

두원공과대학 메카트로닉스과[1] · 현대자동차(주)[2] · 인지AMT(주)[3]

A Study on Die Casting Process of the Automobile Oil Pan Using the Heat Resistant Magnesium Alloy

Hyunwoo Shin[*1] · Yeonjun Chung[2] · Seunggoo Kang[3]

[1]*Department of Mechatronics, Doowon Technical University, Gyeonggi 456-718, Korea*

[2]*Corporate Research & Development Division, Hyundai Kia Motors, 772-1 Jangduck-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea*

[3]*Inzi AMT Co., LTD, 563-10 Bugok-ri, Songak-myeon, Dangjin-gun, Chungnam 343-827, Korea*

(Received 11 August 2008 / Accepted 17 January 2009)

Abstract : Die casting process of Mg alloys for high temperature applications was studied to produce an engine oil pan. The aim of this paper is to evaluate die casting processes of the Aluminium oil pan and in parallel to apply new Mg alloy for die casting the oil pan. Temperature distributions of the die and flow pattern of the alloys in cavity were simulated to diecast a new Mg alloy by the flow simulation software. Dies have to be modified according to material characteristics because melting temperature and heat capacity are different. We changed the shape and position of runner, gate, vent hole and overflow by the simulation results. After several trial and error, oil pans of AE44 and MRI153M Mg alloys are produced successfully without defect. Sleeve filling ratio, cavity filling time and shot speed of die casting machine are important parameter to minimize the defect for die casting Magnesium alloy.

Key words : Oil pan(오일팬), Heat resistant magnesium alloy(내열마그네슘합금), Aluminium alloy(알루미늄 합금), Die casting(다이캐스팅), Flow simulation(유동해석)

1. 서 론

크랭크케이스의 하부에 부착되는 오일팬은 오일펌프에 의해 펌핑된 오일이 윤활작용을 마치고 다시 모이는 부품이다. 오일의 온도에 의해 가열되므로 일반적으로 사용되는 마그네슘 합금인 AZ나 AM계열의 합금은 사용이 불가하며 내열소재의 적용이 불가피하다. 현재 ADC12종 알루미늄 오일팬 등이 적용되고 있으며, 이를 마그네슘으로 대체할 경우 밀도가 알루미늄 2.8g/cm^3, 마그네슘 1.8g/cm^3 이므로 약35%의 경량화가 가능하다고 단순하게 말할 수 있다. 그러나 탄성계수는 알루미늄 73GPa이고 마그네슘 45GPa이므로 외부 하중을 지지하고 있는 부품의 경우는 단순한 재질의 변경만으로는 알루미늄과 같은 정도의 강성을 나타내지 못하므로 형상의 변경 등을 통한 설계 최적화가 요구된다.

마그네슘은 현재까지 개발된 여러 가지 구조용 합금들 중에서 최소의 밀도를 가지고 있으며 동시에 우수한 비강도 및 비탄성 계수를 가지고 있다.[1,2] 그러나 이러한 우수한 특성을 가지는 마그네슘 합금은 경쟁 재료에 비해 절대 강도 및 인성이 낮으며

*Corresponding author, E-mail: hwshin@doowon.ac.kr

고온에서 인장 강도가 급격히 감소하고 내부식 성능이 떨어지는 등의 문제점이 있다. 현재까지 자동차 부품 중 마그네슘 합금은 Cylinder head cover, Steering wheel, Instrument panel, Seat frame 등 비교적 내열성이 요구되지 않는 부분에만 한정적으로 적용되고 있다. 자동차 산업에서 좀 더 많은 부품에 마그네슘 합금을 적용하기 위해서는 내열성을 향상시키고 고온강도를 향상시키기 위한 새로운 합금의 개발이 이루어져야 한다.

최근 마그네슘 합금개발에 대한 연구동향은 비교적 저가인 원소를 값비싼 원소가 첨가된 합금계에 부분적으로 첨가하거나 대체함으로써 비슷한 내열특성을 가지는 합금을 개발하고,[3,4] 이를 자동차 산업이나 전자 산업의 내열 부품 적용으로 확대하기 위하여 진행되고 있다.[5] 현재 마그네슘 내열 부품은 선진국에서 자동차 부품으로 개발되고 있으나[6-8] 국내에서는 아직 자동차 부품에 폭 넓게 적용되고 있지 않다. 그러므로 국내 자동차 산업이 치열한 국제시장에서 생존하기 위해서는 마그네슘 합금의 내열부품 제조기술을 조기에 개발하여 선진국보다 기술적, 경제적 우위를 확보하는 것이 절실히 요구된다.

본 연구에서는 내열 마그네슘합금을 이용하여 알루미늄 오일팬을 대체할 수 있는 새로운 오일팬의 개발을 위한 적절한 다이캐스팅 공정방안을 도출하고자 한다.

2. Mg 오일팬 주조해석

2.1 금형온도분포(Die Cycling) 해석

오일팬의 경우는 알루미늄합금으로 생산중이므로 이것의 문제점을 개선하는 것이 신규 금형개발의 위험을 줄일 수 있는 방법이다. 따라서 마그네슘 오일팬의 성공적인 개발을 위하여 1차로 현재 생산중인 알루미늄 오일팬의 주조방안을 해석하였고 이의 문제점을 도출하여 개선하고자 하였다.

일반적으로 알루미늄 소재를 마그네슘으로 전환할 때 가장 문제가 되는 점은 온도저하에 따른 성형불량이다. Table 1과 같이 마그네슘의 단위부피당 열용량은 알루미늄의 단위부피당 열용량에 비하여 약 78%에 지나지 않는다. 뿐만 아니라, 응고잠열은 약 61%에 지나지 않는다. 이와 같은 이유로 인하여 대부분의 마그네슘 다이캐스팅 시에는 알루미늄 다이캐스팅과 동일한 조건으로 주조하게 되면 금형 온도저하가 심하게 발생하여 미충진 또는 성형불량의 결함이 발생하게 된다. 마그네슘 오일팬의 주조방안은 알루미늄 주조방안을 기초로 충진성 향상과 더불어 기포 및 산화물의 배출을 원활히 하는 방안으로 설계되겠지만, 전체 부피는 비슷하게 설계될 것이므로 금형온도분포는 주조방안과 관계없이 유사하게 나타날 것이다. 따라서 본 연구에서는 기존 방안에 대하여 알루미늄과 마그네슘을 적용하였을 경우의 금형온도분포를 비교하여 금형온도분포의 적정성을 판단하고 냉각방안에 대하여 검토하였다.

Table 1 Heat capacity of aluminum and magnesium

	A319	AZ91D
Heat capacity per unit mass	1,211 J/Kg/K	1,428 J/Kg/K
density	2,532 Kg/M3	1,670 Kg/M3
Heat capacity per unit volume	3,066,252 J/M3/K	2,384,760 J/M3/K
percentage	100%	77.8%

금형온도분포 해석은 일반적으로 계산시간이 길게 소요되는 용탕유동을 포함하여 해석하지 않고, 용탕이 충진되었다는 가정하에 '응고-취출-스프레이-에어브로잉'의 일련된 과정을 각 공정의 시간, 분위기 온도 및 열전달 계수를 입력하여 금형의 온도분포를 계산하게 된다. 이 때 각 공정의 시간과 분위기 온도 및 열전달 계수는 다음과 같다.

충진~응고: 10초, 690°C, $h=2.0\times10^{3}W/m^{2}$

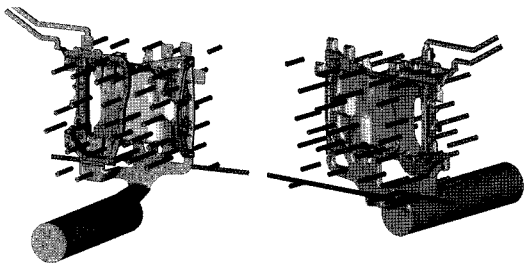
취출~스프레이 : 5초, 30°C, $h=2.0\times10^{2}W/m^{2}$

형결합~사출직전 : 35초, 30°C, $h=2.0\times10^{1}W/m^{2}$

금형의 온도분포해석을 위하여 10Cycle(충진-응고-spray-air blowing)을 해석하였고, 그중 10회째 해석결과를 기초로 알루미늄과 마그네슘 적용시의 금형온도분포를 비교하였다. 본 연구에서는 주조해석 프로그램 중 FLOW-3D를 이용하여 주조해석을 수행하였다.

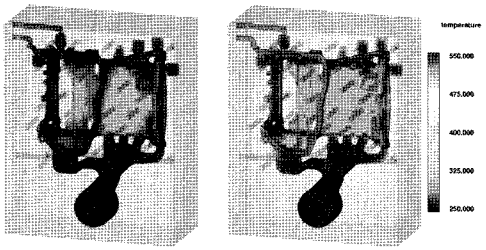
Fig. 1에 기존 Al Oil Pan의 양산소재형상 및 냉각라인을 나타내었다.

Fig. 2는 시간에 따른 소재의 온도변화를 보여주고 있다. 결과에서 보는 바와 같이 마그네슘의 경우 온도저하가 훨씬 빠른 것을 볼 수 있다. 또한, Mg의

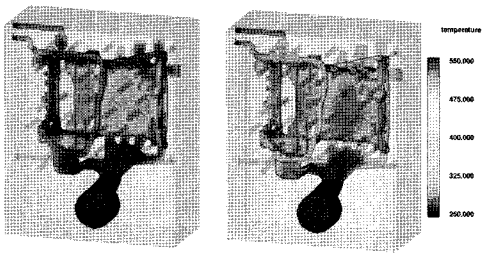


(a) Front view (b) Back view

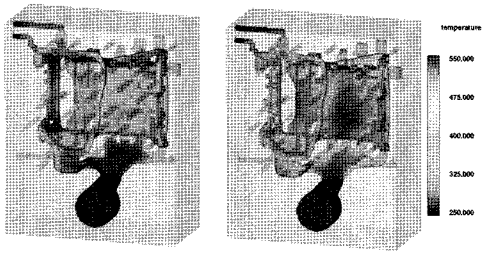
Fig. 1 Current Al oil pan and cooling lines



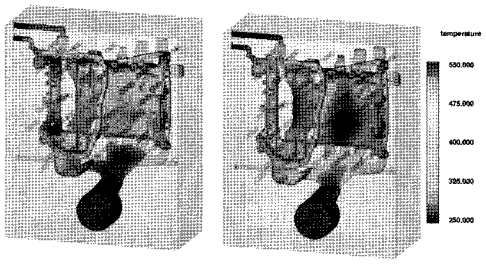
(a) 5msec Al Mg



(b) 10msec Al Mg



(c) 15msec Al Mg



(d) 20msec Al Mg

Fig. 2 Temperature distributions of oil pans (Cycling)

경우 금형온도가 200도 이하로 내려가므로 주조에 적합지 않을 것을 알 수 있다. 이것을 기초로 마그네슘 주조시에는 냉각수로 물을 사용하지 않고 Oil을 이용해야 한다는 것을 알 수 있다. 현재 양산중인 Al 오일팬의 방안과 같이 알루미늄 다이캐스팅의 경우 라인(line)냉각과 스폿(spot) 냉각을 선별적으로 사용하는 것이 일반적이나 이는 절대적인 것은 아니다. Mg 오일팬의 경우 스폿냉각을 사용해야 하나 물을 사용하지 않고 고온의 오일을 사용하기 때문에 물을 냉각제로 사용할 경우와 같이 여러 라인을 통해 오일을 공급하기 어렵다. 따라서 Mg 오일팬의 금형에서는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 스폿과 라인을 혼합하여 사용하는 냉각방식을 사용하였다.

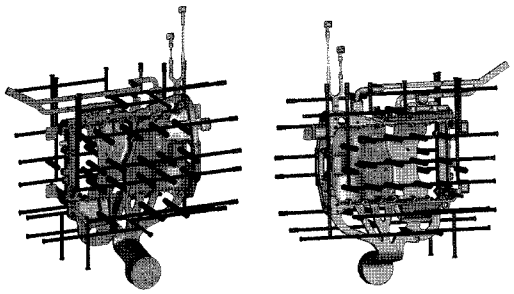


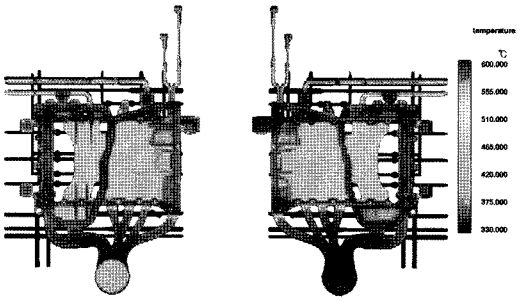
Fig. 3 Developed Mg oil pan and cooling lines

Fig. 4는 본 연구에서 개발된 Mg 오일팬 소재에 270도 오일을 사용했을 경우의 cycling 해석 온도분포를 나타낸다. Fig. 2의 기존 냉각회로에 물을 이용해서 해석한 결과와 비교해 보면 제품의 온도저하가 매우 감소하여 알루미늄 제품의 온도분포보다는 다소 낮으나 큰 차이를 보이지 않고 유사한 것을 알 수 있다. 이것은 온도조절기를 사용하여 금형을 보온하여 금형의 열손실을 방지한 경우로 Mg 오일팬의 경우는 일반적인 물을 냉각제로 사용할 경우에는 유량을 매우 적게 흘려야 하며 이와 같은 경우 온도저하 또는 물의 비등이 발생할 가능성이 있으므로 주조에 매우 큰 어려움이 있을 것이라는 것을 알 수 있다.

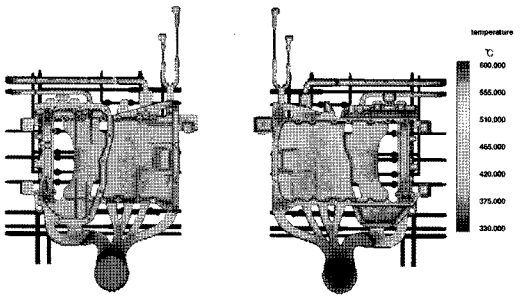
2.2 런너, 게이트의 해석 및 설계

2.2.1 기존 주조방안의 해석

기존 Al 양산품의 주조방안에 대한 해석을 실시하였고 이의 미비점을 분석하여 Mg 오일팬의 최적



(a) 5msec



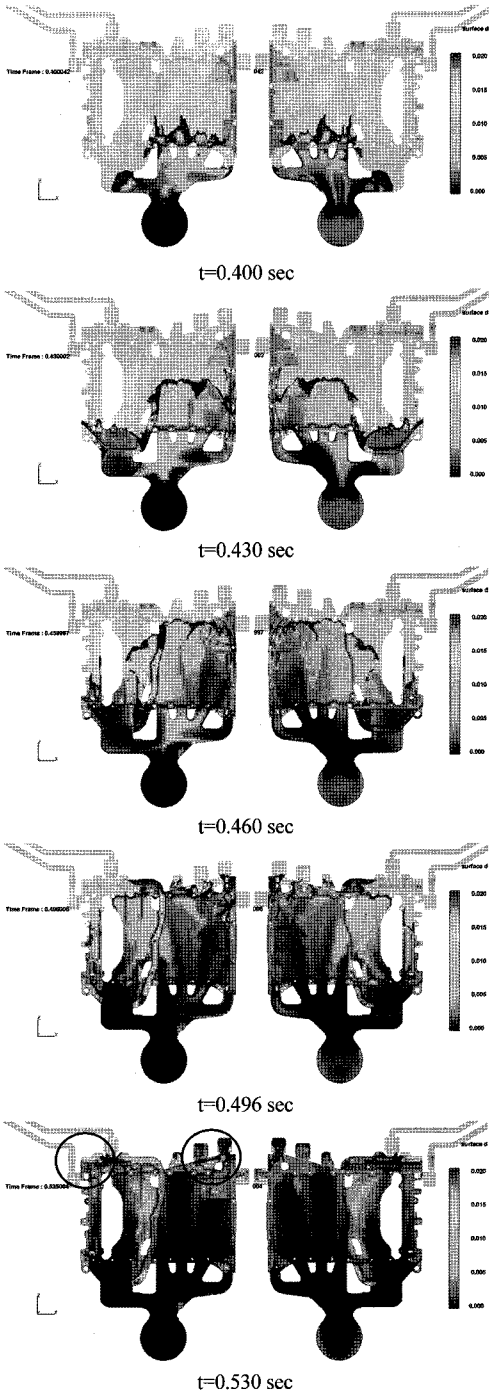
(b) 10msec

Fig. 4 Temperature distributions of Mg oil pan for new cooling lines (Cycling)

주조방안 수립에 이용하였다.

Fig. 5에 시간에 따른 충진 양상 및 산화물의 분포를 나타내었다. 붉은 색은 공기와의 접촉으로 인한 산화물의 발생가능성을 나타낸 것으로 Al 오일팬의 주조를 위한 충진 양상은 시간에 따른 용탕 흐름이 비교적 일정하게 전개되고 있어 충진이 원활한 것으로 나타났으나, t=0.530sec에서 붉은 선으로 나타낸 것처럼 부분적으로 산화물의 배출이 원활하지 못하여 고립될 가능성을 나타내고 있다. 또한 Mg 오일팬의 양호한 주조를 위해서는 온도저하를 방지하기 위한 고속 충진이 이루어져야 하나 런너의 형상의 굴곡이 심하여 고속충진 시 런너 내부의 공기배출이 원활하지 못할 것으로 예상된다. 따라서 기존안에 대한 해석 결과를 기초로 공기배출이 원활하고 온도저하를 최소화하는 방안으로 런너 및 게이트의 형상을 수정하였다.

Fig. 6에 런너와 게이트 변경 형상을 나타내었다. 그림의 a부분에서 용탕의 흐름을 원활하게 하기 위해 게이트를 두 개로 만들었으며, b부분에서도 곡률반경을 증대시키도록 형상을 변경하였다.



t=0.400 sec

t=0.430 sec

t=0.460 sec

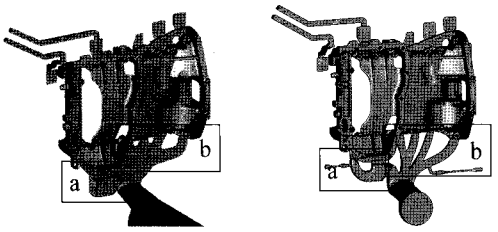
t=0.496 sec

t=0.530 sec

Fig. 5 Filling pattern of current Al oil pan

2.2.2 Mg 오일팬 주조방안의 해석(1차)

기존 Al 양산품의 주조방안에 대한 해석 결과를 기초로 런너 및 게이트를 수정한 모델을 이용하여



Al oil pan Mg oil pan(1-st)

Fig. 6 Changes of runner and gate

주조해석을 실시하였다. 오버플로우 및 벤트의 위치는 런너게이트의 형상이 결정된 후에 충진양상을 보고 결정하는 것이 일반적이므로 1차 Mg 오일팬의 해석에서는 기존 Al 오일팬의 오버플로우를 동일하게 적용하였다. 오버플로우는 1차 충진해석 결과를 검토한 후에 최종 충진부에 설치하여 캐비티 내 공기 및 산화물을 배출하도록 설계할 예정이다.

본 연구과제의 대상인 오일팬이 고온에서 안정적인 기계적 성질을 요구하는 제품이므로 크릮(creep) 시험이 필요하다. 크릮(creep)시험의 특성상 제품부에서 절취하여 가공하여 사용하면 적절한 시험이 될 수 없으므로 런너 좌우에 시편형상을 설치하여 시편의 대표성을 알아보았다.

또한, Mg 오일팬 에서는 기존 고압 다이캐스팅에서 주로 사용하던 2단 충진(저속-고속) 방식의 슬리브조건을 사용하지 않고 다단속도조절을 적용하여 슬리브내의 공기배출을 극대화시킴과 동시에 충진시간을 감소시켜(기존 3초 이상 --> 2초 이내) 용탕의 온도저하를 최소화하였다.

Fig. 7에 충진 양상 및 산화물 분포를 나타내었다. 일반적인 주조시 용탕이 게이트를 지나갈 때까지의 시간(저속시간)이 3초 이상인 것에 비하여 1차 해석에서는 1.7초 이전에 용탕이 게이트에 도달하는 것을 알 수 있다.

일반적으로는 고속충진이 이루어지면 런너 내의 공기가 원활히 배출되지 어려우나 1차 주조방안의 경우 1.5~1.74초 충진시 결과에서 보이는 바와 같이 런너의 공기가 순차적으로 배출되고 모든 게이트에서 동시에 충진이 이루어지는 것을 볼 수 있다.

1차 방안에서 문제점으로는 다음과 같은 것들이 있다. 첫 번째 런너부에 위치시킨 크릮 시험편에 초기 산화물이 유입될 가능성이 크므로 시편이 제품

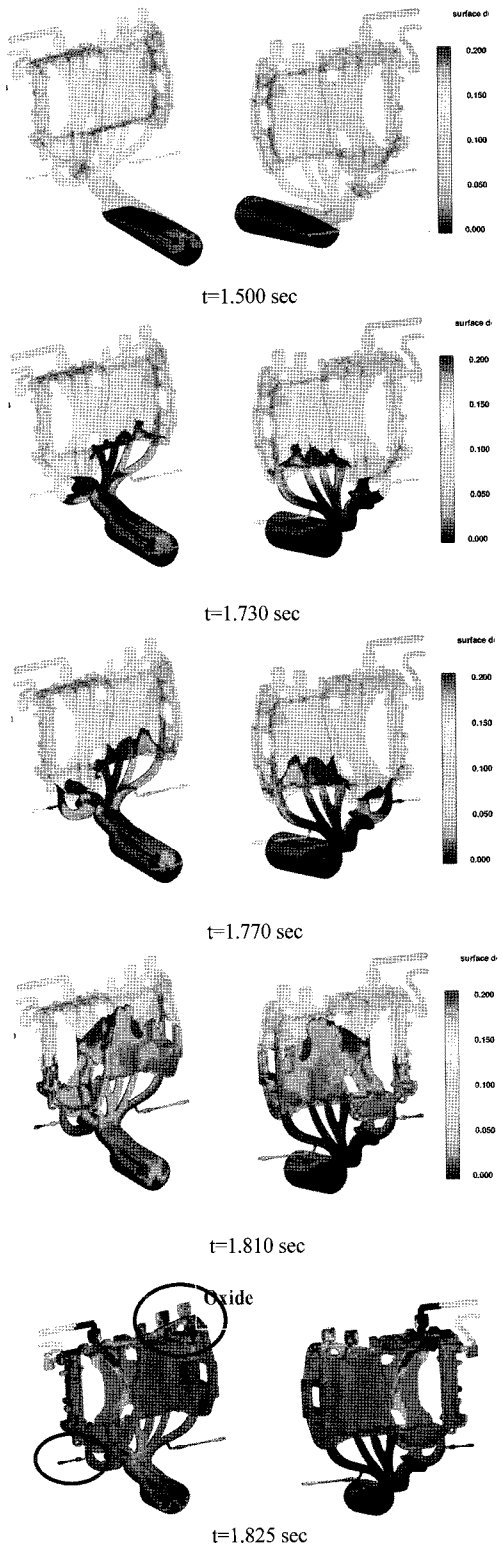


Fig. 7 Filling pattern of 1-st die casting process

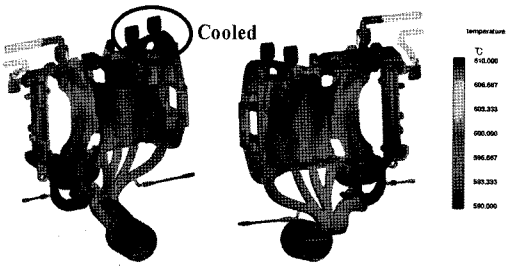


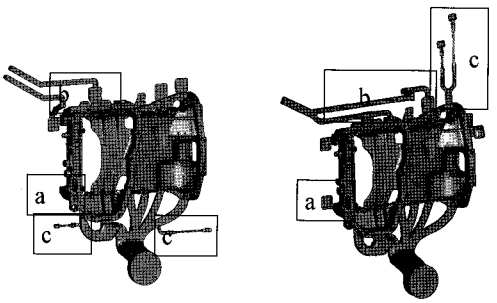
Fig. 8 Temperature distribution at t=1.825sec

의 기계적 성질을 대표하기 어려울 판단되므로 이것의 위치를 이동시킬 필요가 있다. 또한, Fig. 8의 용탕온도 분포에서 보는 바와 같이 최종 충진부의 오버플로우 크기가 작고 벤트 측으로 연결되지 못하여 산화물이 충분히 배출되지 못하고 제품부에 남는 것과 동시에 심한 온도 저하로 인하여 탕주름에 의한 성형 불량이 발생할 가능성이 있다.

2.2.3 Mg 오일팬 주조방안의 해석(2차)

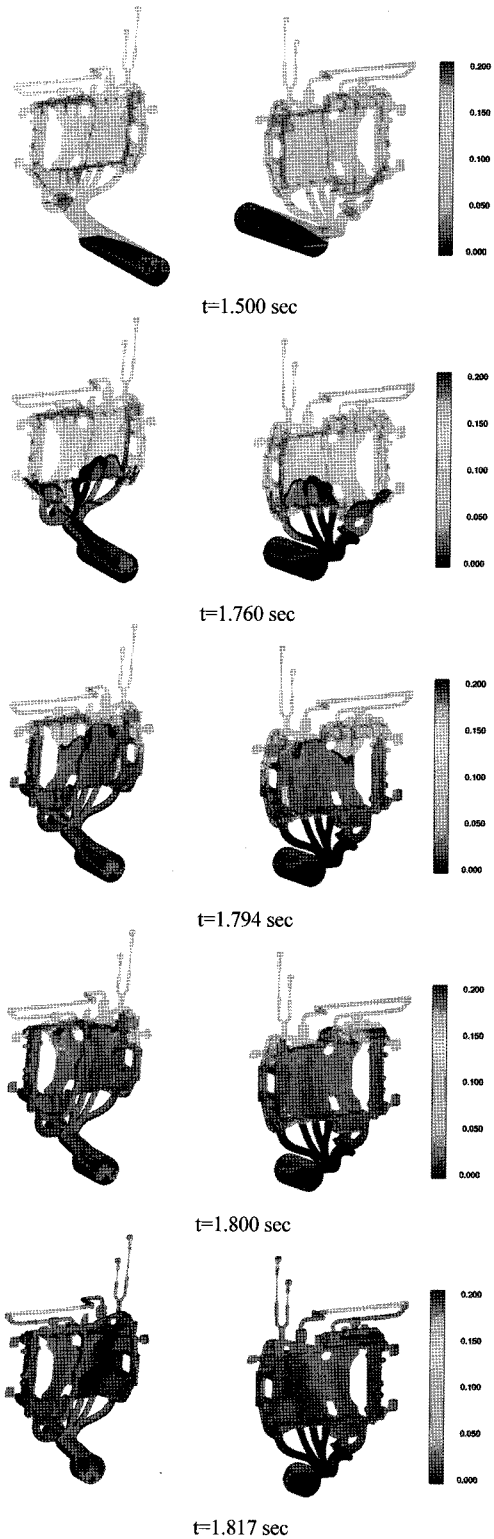
2차 주조방안에서는 Fig. 9 a에 나타낸 것과 같이 형상이 복잡한 부분에 오버플로우를 추가하였고, 상호간에 간섭되지 않고 제품충진 전에 벤트 런너를 막지 않도록 하기 위하여 b와 같이 2열의 벤트 런너를 설치하였다. 또 2.2.2에 설명한 바와 같이 크릡시편은 하부에 있는 것보다 제품 상부에 위치시키는 것이 초기 산화물의 유입을 줄여 제품의 기계적 성질을 대표하는데 유리할 것으로 판단되어 c와 같이 제품 상부에 설치하였다.

Fig. 10에 2차 주조방안의 충진양상 및 산화물 분포를 나타내었다. t=1.817sec에서 보는 바와 같이 1차 방안에서 나타났던 크릡시험편 위치에서의 산화물 혼입이 2차 방안에서는 대폭 감소했음을 알 수



1-st die 2-nd die

Fig. 9 2-nd die shape for Mg oil pan



t=1.500 sec

t=1.760 sec

t=1.794 sec

t=1.800 sec

t=1.817 sec

Fig. 10 Filling pattern of 2-nd die casting process

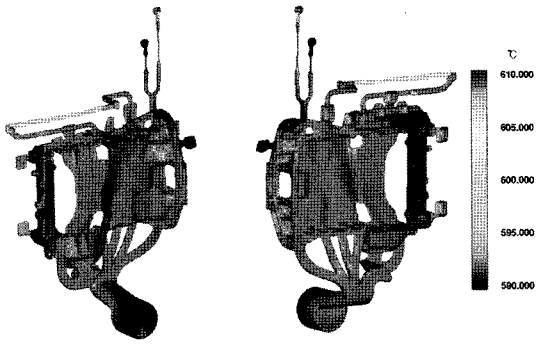


Fig. 11 Temperature distribution at t=1.825sec

있다. 또한, 1차 방안시에 발생했던 최종 충진부의 온도저하와 산화물의 배출불량이 오버플로우의 위치 이동으로 인하여 개선되었고, 용탕 선단의 저온부도 오버플로우를 통하여 소재 외부로 배출되는 것을 알 수 있다. 따라서 2차 방안은 1차 방안에 비하여 용탕의 흐름이 좋고 및 산화물의 발생이 적을 것으로 판단된다.

Fig. 11에 t=1.825sec에서의 용탕온도 분포를 나타내었는데 Fig. 8의 1차 주조방안 해석 결과에 비해 온도의 급격한 변화가 많이 완화되어 실제 주조시에 온도강하에 의한 성형불량이 나타나지 않을 것으로 예측된다.

3. 시험 생산

3.1 시험 생산 주조 조건

각각의 합금별 구성 성분 및 기계적 성질이 다르므로, 각 합금별로 그에 맞는 주조조건의 설정이 필요하다. 아래의 Table 2에서는 시험 생산을 통해 설정된 해당 오일팬 제품에 대한 각 합금별 최적 주조조건을 볼 수 있다.

AE44 합금과 MRI153M 2차의 경우는 제품이 양호하게 생산된 경우이나 MRI153M 1차는 결함이 있는 제품이 생산된 조건을 나타낸다. MRI153M 2차는 금형온도를 MRI153M 1차에 비해 높이고 냉각시간을 늘이며, 슬리브 충진율의 증대, 게이트 통과속도의 증대, 충진 시간의 단축 등을 시행하여 양호한 결과를 도출하였다.

3.2 합금 간 성형성 비교

AE44와 MRI 153M의 각각의 시험 생산품으로 X-Ray 촬영 및 소재 절단 검사하여 두 합금간의 성형성을 비교하도록 하였으며, 비교 부위는 알루미늄 오일팬의 주요 불량 발생 부위를 지정하였다.

Fig. 12에 불량확인을 위한 절단 부위를 나타내었다. Fig. 13과 Fig. 14에서 볼 수 있듯이 AE44가 MRI

Table 2 Die casting conditions according to materials

Parameters		AE44	MRI153M (1차)	MRI153M (2차)
Weight	Shot (g)	4,740	4,740	5,200
	Part (g)	2,410	2,410	2,410
Sleeve	Inside Dia. (mm)	100	100	100
	Filling ratio (%)	39	39	45
Temperature	Melt (°C)	690	680	690
	Die (°C)	270	250	290
	Sleeve (°C)	270	250	290
Gas protection	SF6 (%)	2	2	2
	Carrier gas (%)	N2(rest)	CO2(rest)	N2(rest)
Spray	Time (sec)	Manual	Manual	Manual
	Mixing ratio (%)	1/30	1/30	1/30
Shot speed	Shot position	80-150-450-550-610 -630-732-770	20-70-100-150-200-250-610 -630-728-770	150-250-600 -630-765-785
	Shot speed (m/sec)	0.5-0.5-2.0-3.0-6.0 -6.0-6.0-1.5	0.2-0.4-0.6-1.0-1.5-2. 5-4.0-7.0-7.0-1.5	0.4-0.8-2.5-5. 0-5.0-1.5
Cavity fill time (sec)		0.1362	0.121	0.118
Cooling time (sec)		8	8-7-6	13
Gate speed (m/sec)		55	70	75

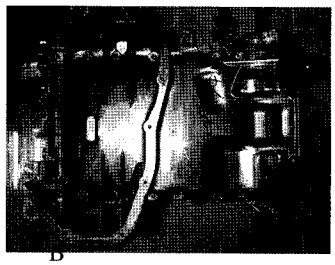
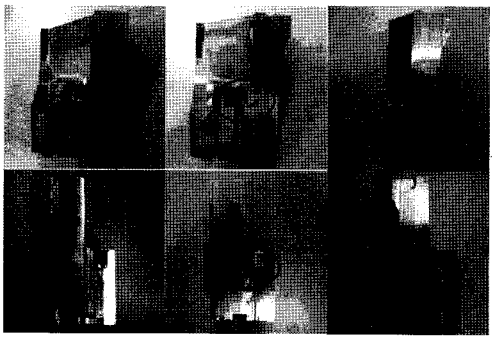
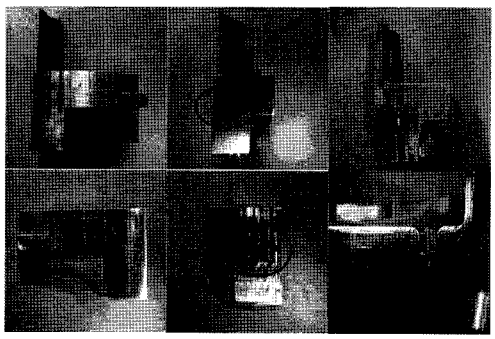


Fig. 12 cutting position



(a) AE44 (b) MRI153M(1-st) (c) MRI153M(2-nd)

Fig. 13 Photos of A-A' section



(a) AE44 (b) MRI153M(1-st) (c) MRI153M(2-nd)

Fig. 14 Photos of B-B' section

153M보다 같은 부위의 내부 수축 기포가 미세하여 잘 보이지 않거나 크기가 작음을 알 수 있다. AE44의 경우 응고 시작점에서 완료점까지의 온도 차이는 약 50°C정도로 응고가 매우 빠르게 이루어져 내부 수축 기포의 크기 확장 시간이 적으나, MRI 153M의 경우에는 약 270°C정도로 AE44 대비 응고 시간이 길어 그 차이만큼의 내부 수축 기포의 크기 확장 시간이 늘어남에 기인한다고 볼 수 있다. 그러나 1차의 주조품에는 커다란 수축 기포가 보이나, 2차 주조품에서는 전혀 수축 기포가 보이지 않는다. 이는 주조 조건의 최적화로 인한 결과로, 특히 슬리브 충진율의 증대, 게이트 통과속도의 증대, 충진 시간의 단축의 3가지 조건의 변화가 기존에 발생하던 수축 기포의 제거에 가장 큰 영향을 준 것으로 판단된다.

4. 결 론

오일팬은 엔진 내부에서 순환되어 돌아오는 오일의 열을 외부로 발산하는 냉각기능 및 엔진으로부터 발생하는 소음이 외부로 전달되지 않도록 소음을 차단하는 역할을 수행하는 매우 중요한 부품 중의 하나이다.

본 연구에서는 현재 개발 중에 있는 새로운 내열 마그네슘 합금을 이용하여 현재 사용하고 있는 알루미늄 오일팬을 대체할 마그네슘 오일팬을 개발하고 시험 생산하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 알루미늄합금과 마그네슘합금의 단위부피당 열용량은 각각 3.07×10^6J/m^3/K, 2.38×10^6J/m^3/K로서 동일 주조 조건시 응고속도 차이가 제품성형에 영향을 미칠 것으로 예상되었으며 주조해석 및 제품분석을 통해 확인하였다. 따라서 주조조건에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인된 용탕, 금형온도, 주조속도 등을 변경하여 최적 주조 공정조건을 확립하였다.
2) 제품 및 시험편 성형에 영향을 미치는 것으로 확인된 런너의 곡률반경을 증대시키고 게이트의 갯수 및 오버플로우 위치와 형상을 조절함으로서 제품 및 시험편의 용탕흐름을 원활하게 조절할 수 있었다.
3) MRI153M합금은 AE44합금에 비해 응고 시작점에서 완료점까지의 응고시간이 길어 응고 완료 후, 내부 수축기포가 보다 많이 관찰되었다. 따라서 MRI153M 합금 주조시 슬리브 충진율, 게이트 통과속도, 충진시간 등을 달리하여 최적 주조품을 생산할 수 있었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 부품소재기술개발사업의 과제로 이루어졌으며 이에 감사의 말씀을 드립니다.

References

1) D. M. Kim, H. S. Kim and S. I. Park, "Magnesium for Automotive Application," Journal of KSAE, Vol.18, No.5, pp.53-67, 1996.
2) J. Hwang and D. Kang, "FE Analysis on the press forging of AZ31 Magnesium alloys," Transactions of KSAE, Vol.14, No.1, pp.86-91, 2006.
3) P. Lyon, J. F. King and K. Nuttal, "A New Magnesium HPDC Alloy for Elevated Temperature Use," Proceedings of the 3rd International Magnesium Conference, ed. G. W. Lorimer, Manchester, UK, pp.10-12, 1996.
4) F. von Buch, S. Schumann, H. Friedrich, E. Aghion, B. Bronfin, B. L. Mordike, M. Bamberger and D. Eliezer, "New Die Casting Alloy MRI 153 for Power Train Applications," Magnesium Technology 2002, pp.61-68, 2002.
5) M. C. Kang and K. Y. Sohn, "The Trend and Prospects of Magnesium Alloys Consumption for Automotive Parts in Europe," Proceedings of KSAE Autumn Conference, pp.1569-1576, 2003.
6) S. Schumann and H. Friedrich, The Use of Mg in Cars - Today and in Future, Conference Paper at Mg Alloys and Their Applications, Wolfsburg, Germany, 1998.
7) W. Sebastian, K. Droder and S. Schumann, Properties and Processing of Magnesium Wrought Products for Automotive Applications; Conference Paper at Magnesium Alloys and Their Applications, Munich, Germany, 2000.
8) S. Koike, K. Washizu, S. Tanaka, K. Kikawa and T. Baba, "Development of Lightweight Oil Pans Made of a Heat-Resistant Magnesium Alloy for Hybrid Engines," SAE 2000-01-1117, 2000.