

진공급탕식 다이캐스팅법을 이용한 자동차 컴프레서용 하우징 부품 개발

이항수[#] · 박정식¹

Development of a Housing Component for an Auto-compressor Using Vacuum Ladling Die Casting

H. S. Lee, J. S. Park

(Received December 7, 2011 / Revised March 27, 2012 / Accepted April 4, 2012)

Abstract

A vacuum ladling die casting system is suggested as a means to obtain a high vacuum level. A high vacuum of 17.8 mmHg is obtained by sealing the inner space of the mould. The sample product is a rear-head housing for an auto-compressor, and the die-casting with 6-cavities was conducted. The flow analysis shows that the filling speed during vacuum ladling is faster than for a non-vacuum system. The air holes in the sample product were too small to be seen with the naked eye in X-ray films. Density tests show that the high vacuum ladling system reduces the internal porosity as much as 57.8% when compared to the non-vacuum system. A defective rate of only 0.17% was found from leak testing. The results of this research prove that the high vacuum die-casting process is useful for manufacturing of aluminium components under high internal pressure.

Key Words : Vacuum Ladling, Compressor Housing, High Vacuum, Die Casting, Aluminium

1. 서 론

본 연구에서의 개발 대상부품은 자동차용 에어컨 컴프레서의 알루미늄재 하우징으로, 이 부품은 컴프레서(compressor)의 압축작용을 유지하기 위해 높은 기밀성과 내압성을 필요로 한다. 실제 부품에 작용하는 압력은 $35\text{kgf/cm}^2(=3.43\text{MPa})$ 으로, 사용 조건이 가혹하여 구조품 내부에 기공(porosity)이 없어야 한다. 따라서 에어컨 컴프레서의 핵심 부품에 대해서는 일반 다이캐스팅으로는 생산하는 것 자체가 어려우며, 고압·고속의 진공 다이캐스팅 방법이 채용된다.

고압구조법에서 구조품의 외관과 내부품질을 좌우하는 가장 큰 2가지 요소로는 금형 캐비티

(cavity)로 용탕이 주입되는 속도와 용탕에 가해지는 압력을 들 수 있다. 일반 다이캐스팅에서는 용탕이 유입되는 경로 또는 캐비티(cavity) 내의 잔존공기가 용탕 중에 혼입되어 제품 내부에 발생하는 구조결함의 원인이 된다. 반면에 진공급탕식 다이캐스팅에서는 금형 내부를 진공으로 만들 수 있으므로 탈가스가 가능하게 되고, 용탕의 유동성을 최적화시킬 수 있다. 특히 용탕을 주입할 때부터 진공상태에서 흡입·충진하므로 소재 내부의 기공결함을 극소화시킬 수 있는 장점이 있다.

이러한 점에서 본 연구에서는 진공급탕 방식으로 고진공 구조시스템을 구축한 다음, 내압용 컴프레서 하우징 부품을 개발하고자 한다. 또한 생산성 확보를 위해 멀티캐비티 금형을 개발하여

1. 김스코리아다이캐스팅(유)

교신저자: 한라대학교 기계자동차공학부,

E-mail: hslee@halla.ac.kr

결과적으로 생산성을 확보하면서도 제품 내 기포 함유량을 최소화 할 수 있는 생산기술을 개발하고자 한다.

고진공 주조공법은 설계 자유도가 높고, 일체화 성형에 가장 유리한 장점을 가지고 있으나, 공법 자체가 가지고 있는 제어의 어려움으로 인해 초기에는 소형 부품을 대상으로 적용하였다. 최근에는 주조기술의 발달로 적용범위가 넓어져서 대형화, 멀티캐비티화가 진행되고 있다. Alcoa사 등은 진공 다이캐스팅 기술을 이용하여 대형 도어프레임을 대량생산하고 있으며, 도시바사 등에서는 멀티캐비티의 품질 밸런스 향상을 목적으로 연구를 추진하고 있다.[1] 진공급탕에 의한 고진공 다이캐스팅법에는 대표적으로 전용기를 사용하는 베큐랄(Vacural) 법과 기존장비를 사용하는 MFT 법이 있다. 두 방법은 모두 고진공을 이용하여 가스결함을 없애는 특징을 갖고 있다. 베큐랄법에서는 흡입관을 이용하여 회전 탈가스 장치를 갖춘 보온로(holding furnace)로부터 진공흡인하여 급탕하는데, 캐비티 내로의 진공흡인 시간이 긴 특징이 있다. MFT법에서는 보통의 진공 다이캐스팅에서와 같이 사출팁이 주탕구를 지나면서 진공흡입이 시작되며, 흡입시간이 비교적 짧다. 이 외에도 사출구간에 따라 밸브를 전기적으로 제어하는 도시바(Toshiba)법이 있으며, 진공 런너 내부의 용탕을 전기접점으로 감지하여 밸브를 강제적으로 닫는 RSV법이 있다. 또한 용탕의 관성력을 이용하여 밸브를 닫는 구조를 가진 Supervac법이 있다.[2]

국내에서도 다이캐스팅에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 주로 소프트웨어를 사용하여 공정을 최적화하거나[3] 실험계획법 등을 활용하여 품질을 개선하는 연구[4]가 많았으며, 마그네슘재를 이용한 부품의 상용화 사례들도 보고되었다.[5][6] 진공 다이캐스팅에 대해서는 산업적인 적용이 점점 늘고 있는 가운데 일반 진공 다이캐스팅을 이용하여 멀티캐비티형 제품을 개발하는 사례[7]가 많이 있다. 그러나 제품개발에 진공급탕식 다이캐스팅을 응용한 사례는 찾아보기 어렵다.

일반적으로 고진공 다이캐스팅이라 함은 50mbar(=37.5mHg) 이하의 고진공으로 금형내의 잔존가스를 뽑아내면서 주조하는 것을 말한다.[8][9] 그러나 내압용 콤프레서 하우징에 대해서는 50mbar보다 훨씬 더 높은 진공도를 필요로 한다. 또한 산업 현장에서는 생산성을 위한 멀티캐비티의 요구도 매우 높다.

따라서 본 연구에서는 캐비티의 진공화에 따른 흡인력을 이용하여 용탕을 슬리브 내로 급탕시키는 진공급탕 방식으로 고진공을 구현하고, 보통의 고진공도보다 더 높은 35mbar(=26.25mHg) 이하의 진공도를 확보하고자 한다. 또한 고생산성을 위한 한 번에 여섯 개의 제품을 주조할 수 있는 멀티캐비티 금형을 제작하여 콤프레서 하우징 부품에 대한 고생산성과 고품질화를 이루고자 한다.

2. 공정 설계

2.1 대상 부품

본 연구에서 개발하고자 하는 부품은 자동차용 에어컨 콤프레서의 리어 헤드 하우징(rear head housing)으로 Fig. 1의 ④번 부품이다.



Fig. 1 Components of a air-conditioning compressor

이 부품은 매우 높은 기밀성을 요하는 부품으로, 입자가 미세한 냉매인 HCFC 134a를 35kgf/cm²(=3.43MPa)의 가혹한 압력으로 토출시켰을 때 누설이 없어야 한다. 제조과정에서의 중요한 검사기준 역시 고압에서의 누설에 관한 것으로, 조립상태에서 고압의 헬륨(He) 가스를 공급하였을 때, 극미량의 누설량만을 허용한다. 따라서 일반 다이캐스팅으로는 생산이 곤란하며, 고속·고압·고진공의 다이캐스팅이 필요하다. 한편, 생산성을 위해 이 부품을 멀티캐비티 금형으로 주조할 경우에는 캐비티별 품질의 밸런스가 취약한 특징도 있다.

2.2 주조방안 설계

Fig. 2는 본 연구에서 개발하고자 하는 리어 헤드 하우징의 모델을 보여준다. 우선, 이 모델을 유동해석하여 주조방안을 설정하고, 그 결과를 실제 제품주조에 반영하고자 하였다.

유동해석에는 Anycasting사의 소프트웨어를 사용하였다. 슬리브 내 용탕의 거동을 파악하기

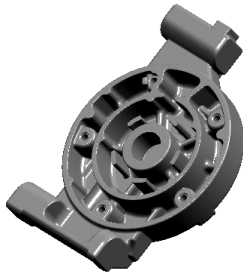
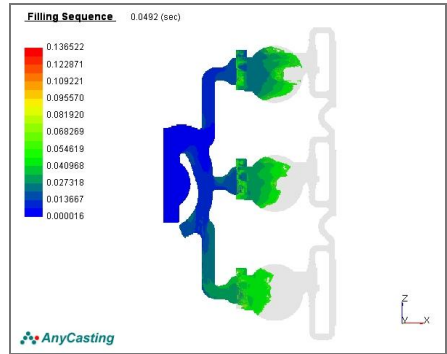
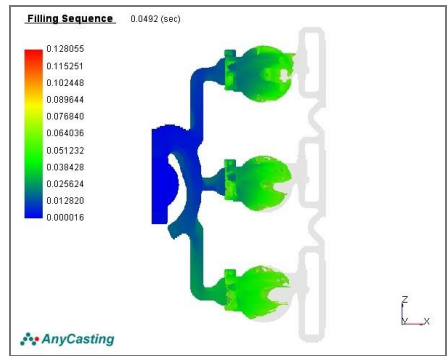


Fig. 2 Analysis model of a rear head housing



(a) Without high vacuum



(b) With high vacuum

Fig. 4 Analysis results of filling die cavity

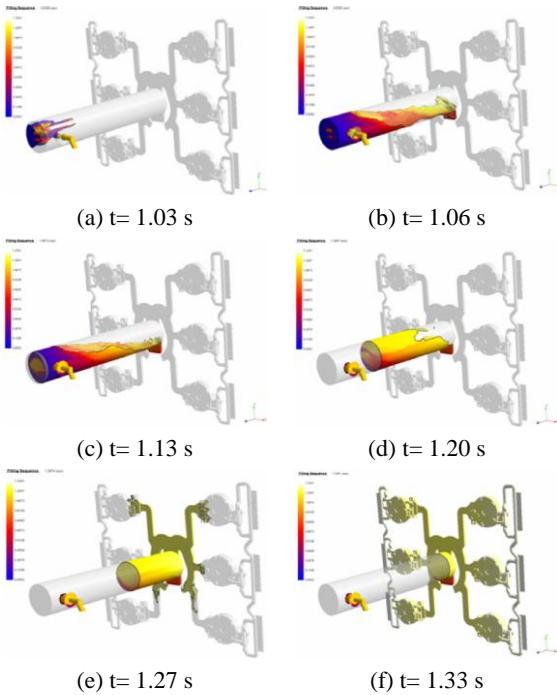


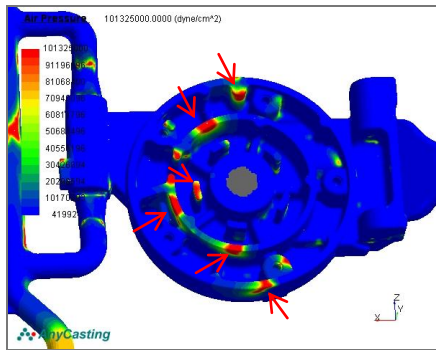
Fig. 3 Flow analysis of high vacuum die-casting

위하여 슬리브 내로 진공흡입되는 용탕의 유동을 포함하여 해석을 실시하였고, 진공이 유동에 미치는 영향을 알아보기 위하여 진공적용 여부에 따른 주조해석을 실시하였다.

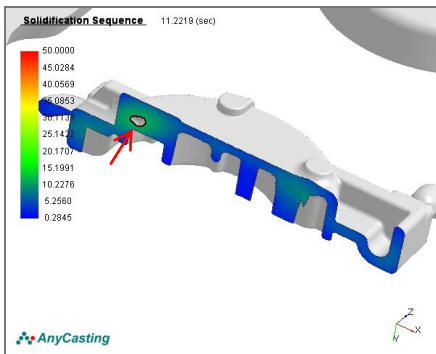
Fig. 3은 진공급탕 다이캐스팅에 대한 유동해석 결과이다. 이 그림들은 모두 본 연구에서 목표로 하는 35mbar(=26.25mHg)의 고진공 조건에 대한 결과로, 용탕의 흡입과정부터 사출되는 과정을 보여주고 있다. 이 그림의 (a)와 (b)는 용탕이 진공에 의하여 슬리브 내로 흡입되는 과정을 나타내고 있으며 (c)부터 (f)는 플런저를 밀어 넣는 과정에서 캐비티 내로 충전되는 용탕의 모습을 보

여주고 있다. 그림에서부터 진공에 의해 슬리브 내로 용탕이 흡입되는 시간은 1sec 내외임을 알 수 있다. 용탕 흡입 이후 사출 시에는 저속구간이 거의 없이 고속으로 사출이 이루어지기 때문에 이론적으로 파라쇼트(para-shot)와 흡사한 사출거동을 보이고 있다. 제품 캐비티 내의 용탕 충전은 게이트 형상에 따라 (f)와 같은 경향을 보인다.

Fig. 4는 사출이 시작된 지 0.04sec 후의 충전상태를 보여주는 그림으로, 진공이 캐비티의 충전에 미치는 영향을 분석하기 위한 해석결과이다. 이 그림의 (a)는 진공을 적용하지 않았을 때의 충전 정도를 나타내며, (b)는 Fig. 3과 같은 고진공을 적용했을 때의 결과이다. 사출이 매우 빠른 고속(4m/sec)으로 이루어지기 때문에 진공을 적용하지 않은 경우에도 고진공을 적용한 경우와 비슷한 충전도를 보인다. 그러나 면밀하게 관찰하면 고진공을 적용했을 때의 충전도가 다소 높음을 확인할 수 있다. 이 그림에서는 알 수 없지만 완전 충전까지의 시간을 비교하면 고진공을 적용한 경우



(a) Surface view



(b) Section view

Fig. 5 Cavity view of flow analysis

가 적용하지 않은 경우보다 0.1sec(15%) 이상 개선되는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 캐비티 내 제품부분에 대한 유동해석 결과이다. 이 그림의 (a)로부터 다이와의 접촉부에서는 기포의 고립에 의한 결함이 발생하기 쉬움을 알 수 있다. (b)에서 화살표로 표시된 부분은 용탕이 최종적으로 응고되는 위치로서, 이 부분에서 내부수축결함이 발생할 가능성이 높다.

보통 용탕이 최후에 충전되는 부분에서는 내부 압력 즉, 공기압력에 의해 기공이 발생할 확률이 높다. 이 경우에 고진공을 적용하면, 캐비티 내에 있는 공기를 제거해 줌으로써 이러한 공기압력을 최소화할 수 있으며, 최후에 충전되는 구간에도 기포의 발생 확률을 떨어뜨릴 수 있을 것이다.

3. 진공급탕 구조실험 및 결과

3.1 고진공 급탕시스템

Fig. 6은 본 연구에 적용된 진공급탕식 다이캐스

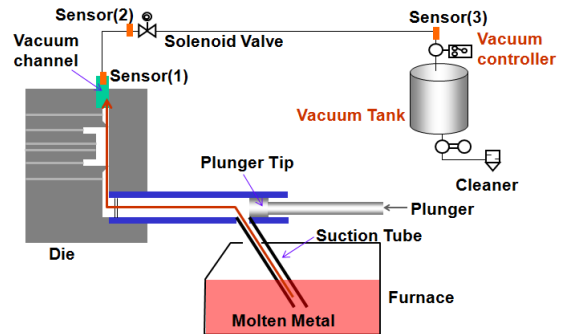


Fig. 6 Die-casting system with vacuum lading

Table 1 Test results of the degree of vacuum

(Unit : mmHg)

	P1	P2	P3	$\Delta P(P1-P3)$
1st trial	69.9	53.0	16.8	53.1
2nd trial	50.7	41.2	10.1	40.6
3rd trial	17.8	13.4	10.8	7.0

팅의 개념도이다. 진공도는 3곳에서 측정되었다. 측정센서의 설치 위치는 진공튜브와 금형과의 연결부(sensor 1), 솔레노이드 밸브 앞(sensor 2), 그리고 진공펌프와의 연결부(sensor 3)이다.

실험 도중에 몇 차례 진공도를 측정하였는데, 그 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1에서 1차 시도의 경우 진공펌프와 금형 사이의 진공도 손실이 53.1mmHg로 나타났다. 따라서 금형 내 고진공도를 확보하기 위해서는 진공펌프 뿐만 아니라 배관, 캐비티 주변에 여러 가지의 조치가 필요함을 알 수 있었다. 고진공 급탕 시스템을 구현하기 위해서는 우선 진공펌프의 성능이 중요하며, 금형 내부 및 배관의 기밀성이 확보되어야 한다.

Table 1에서 3차 측정결과는 1mmHg의 진공도로 운용될 수 있는 진공펌프를 설치한 후에 기밀성을 확보하기 위해 진공 리이크(leak)가 발생할 수 있는 모든 부분에 실리콘재질의 시일링(seal ring)을 설치한 결과이다. 특히 이젝트 핀의 습동부에 주의를 기울였으며, 코어와 몰드베이스 사이에도 시일링을 설치하였다. 진공 배관에서의 누설이 발생하지 않도록 하였으며, 플런저 팁에서의 기밀성을 확보하기 위해 링 형상의 시일링 구조를 설치하였다. 이는 링(ring)과 링 사이에 플런저 오일(oil)을 분사시켜 진공 흡입시 오일의 흡입을 방지

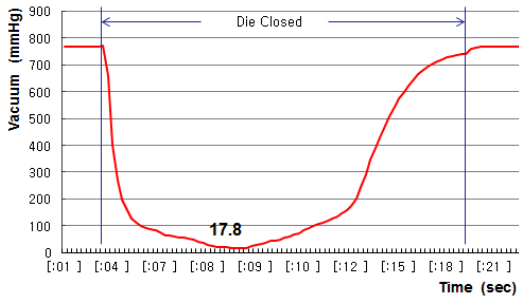


Fig. 6 Variation of the vacuum level at mould

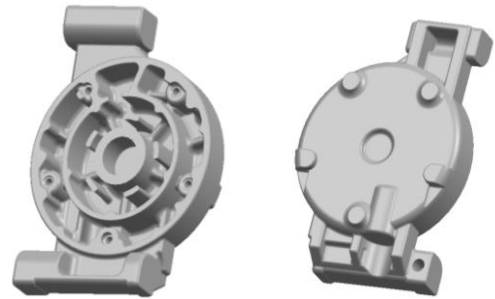


Fig. 7 Experimental model of the sample product

하고, 슬리브 내 용탕과 오일의 반응을 제거하여 진공도를 높이는 시스템이다.

한편, 진공 탱크 및 펌프에 흡입되는 이물질을 없애기 위한 트랩(trap)을 설치하였다. 이는 진공 흡입 시 팁오일 및 이형제 잔량이 진공장치에 흡입되는 것을 방지하기 위해 설치한 것이다. 또한 금형 내부에 이형제의 잔류를 억제하고, 금형과 슬리브 내 플런저 오일의 잔류를 최대한 억제하도록 청정도를 높게 유지하였다.

그 결과 3차 측정에서와 같이 금형 연결부에서 17.8mmHg의 고진공도를 구현하였다. Fig. 6은 금형과 연결된 부위에서 측정된(sensor 1) 진공도 그래프이다.

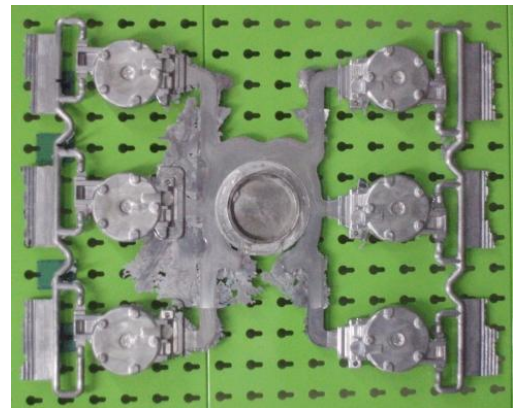


Fig. 8 Die-casting full shot of rear head housing

3.2 주조실험 및 결과

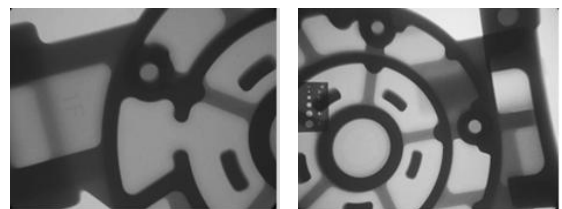
Fig. 7은 진공급탕식 다이캐스팅을 적용한 샘플의 주조 모델이다. 이는 Fig. 2에 보여지는 모델과 거의 같은 것으로, 6개의 제품을 동시에 주조할 수 있도록 멀티캐비티 금형을 제작하였다. Fig. 8은 이로부터 제작된 시제품을 보여준다.

본 연구에서 제작된 제품의 평가를 위해 X-ray 사진을 분석하였으며, 고진공 여부에 따른 밀도변화를 통계적으로 분석하였다. 비교 대상이 되는 제품은 고진공을 적용하기 이전에 제조된 제품이다. 내압 기밀성을 평가하는 데에는 리이크시험(leak test)을 실시하였다.

Fig. 9의 (a)는 진공급탕 방식이 아닌 보통의 진공 다이캐스팅을 적용한 제품의 X-ray 사진이며 (b)는 진공급탕에 의해 고진공을 적용한 시제품의 X-ray 사진이다. 육안으로 관찰할 때, (a)에서는 기포의 흔적을 쉽게 발견할 수 있으나 (b)에서는 내부 결함을 발견할 수 없다. 정밀 조사를 통해 발견된 기포 역시 0.2mm이하의 미세 기포였다. 이들 기포에 대한 통계자료를 Table 2에 나타내었다.



(a) Without high vacuum



(b) With high vacuum

Fig. 9 X-ray photos of rear head housing

여기서 고진공을 적용했을 때 발생한 기포의 평균 사이즈는 0.156mm 로서 고진공을 적용하기 이전의 1.023mm보다 훨씬 작음을 알 수 있다.

Table 2 Statistical data of the air hole size

	Number of specimens	Average size(mm)	Standard deviation
Without high vacuum	30	1.023	0.303
With high vacuum	30	0.156	0.290

Table 3 Results of density test

	Number of specimens	Average density	Standard deviation
Without high vacuum	30	2.55g/cm ³	0.0040
With high vacuum	30	2.64g/cm ³	0.0026

Table 4 Air contents in the die-casted Al alloy

	Without high vacuum	With high vacuum
Gas content	2.32cc/100g	0.98cc/100g

Table 5 Leak test results of rear head housing

	Without high vacuum	With high vacuum
NG ratio	0.6%	0.17%

Table 3은 다이캐스팅된 알루미늄의 밀도에 대한 통계적 분석결과로서, 스퀴즈(squeeze)의 영향이나 기타 주조조건이 같다는 전제로 비교 분석된 것이다. 각각의 시험편을 490℃의 전기로 속에서 3시간 동안 열처리한 후 밀도측정을 하였으며, 밀도측정은 아르키메데스의 원리를 따랐다. 즉, 100g의 주조된 알루미늄의 부피를 측정하여 밀도로 환산[10]한 자료이다. 측정 결과, 고진공을 적용했을 때의 밀도는 그 평균값이 2.64g/cm³로서, 고진공을 적용하지 않은 경우의 2.55g/cm³보다 0.09g/cm³ 정도가 향상된 것으로 분석되었다. 기포가 없는 순알루미늄의 기준 밀도는 2.71g/cm³이므로, 이들 자료로부터 100g당 기포함유량을 계산하면 Table 4와 같이 된다. 고진공을 적용하지 않은 경우에는 알루미늄 100g당 기포함유량이 2.32cc로 환산되었으며, 진공급탕에 의한 고진공을 적용했을 때는 이보다 57.8%가 줄어든 0.98cc로 환산되었다. 일반적인 다이캐스팅 공법에서는 알루미늄 100g당 10cc 까지도 기포가 함유되어 있다는 점을 고려하면 고진공 적용이 품질 면에서 월등한 향

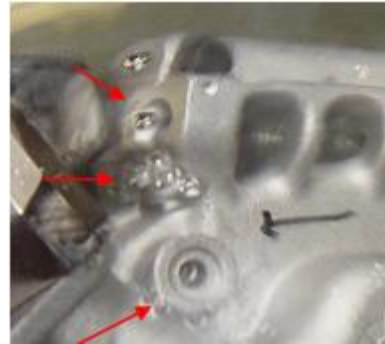


Fig.10 Leak on the surface of rear head housing

상도를 보여주고 있다고 판단된다.

내압 기밀성 평가는 냉매가스가 누설되는 리이크(leak)로 정의하고 있으며, 실제 제품에 대한 산업현장에서의 검사기준을 적용하였다. 실제 시험에서는 냉매가 아닌 헬륨가스를 사용한다. 헬륨가스를 1.72MPa(=250psi)의 압력으로 공급하였을 때 발생하는 리이크량을 측정하여 1.12×10⁻⁴[cc/sec]이상의 리이크가 발생하면 ‘불량(fail)’으로, 그 이하인 경우에는 ‘합격(success)’으로 판단한다. 고진공 적용 여부에 따른 리이크 불량률 시험결과를 Table 5에 나타내었다. 고진공을 적용하기 이전에 저자가 소속된 기업에서 제조한 리어 헤드 하우징의 불량률은 0.6%였다. 같은 제품에 대하여 고진공을 적용한 경우의 불량률은 0.17%로 나타났다. 즉, 고진공을 적용한 경우에 불량률이 매우 낮아졌다. 이는 고진공 적용이 제품의 불량개선에 아주 큰 영향을 주고 있다는 점을 보여주는 것이다.

한편, 리이크가 주로 발생하는 위치를 Fig. 10에 나타내었다. 사진에서 화살표가 지시하는 부분에는 기포 방울이 군집성으로 형성되고 있는데, 이 부분은 해석에서 최후에 충전되는 구간과 같은 위치이다. 이 부분은 모델상 살두께 즉, 가로×세로×높이가 모두 20mm 이상인 후육부이며, X-ray 상으로 발견되지 못하는 수축성(shrinkage) 미세 기포가 원인인 것으로 판단된다.

4. 결론

진공급탕식 다이캐스팅 주조시스템을 구축하여 일반적으로 통용되는 50mmHg의 고진공도보다 훨씬 높은 17.8mmHg의 진공도를 구현하였다. 자동차용 콤프레서 하우징 부품에 대하여 고진공 다이캐스팅 공법을 적용하였으며 6개의 제품을 한

번에 주조할 수 있는 멀티캐비티 금형을 개발하여 현장에서의 불량개선과 함께 생산성도 향상시킬 수 있도록 하였다.

주조방안 설계를 위해 유동해석을 하였으며, 그 결과 고진공 적용 여부에 따른 충전도 차이를 확인하였고, 최후에 충전되는 위치 즉, 기공이 발생하기 쉬운 부위를 찾았다. 고진공을 적용한 시제품에 대한 X-ray 사진을 관찰한 결과, 육안으로는 내부 결함을 찾기 어려울 정도로 기공의 크기가 작아진 것을 확인하였다. 또한 다이캐스팅된 주조품의 밀도를 측정한 결과로부터, 고진공을 적용하지 않은 경우보다 내부의 기포함유량이 57.8% 줄어든 것을 확인하였다. 리이크 시험결과에서는 고진공을 적용하기 이전의 0.6%보다 훨씬 낮은 0.17%의 불량률을 기록하여 품질이 매우 우수해졌음을 보였다.

이들 결과로부터 고진공 다이캐스팅 공정이 불량률 개선에 지대한 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] K. Y. Kim, 2007, New Diecasting Trend, J. Kor. Foundry Soc., Vol. 27, No. 7, pp. 81~90.
- [2] N. Nishi, 2005, New Development of Aluminium Diecasting Technology, J. Jpn. Foundry Eng. Soc., Vol. 76, No. 4, pp. 226~271.
- [3] E. S. Kim, 2005, Die Casting Process Design for Gear Housing of Automobile Transmission by Using MAGMASoft, Trans. Mater. Process., Vol. 14, No. 2, pp. 112~120.
- [4] D. Kim, I. H. Choo, Y. S. Lee, S. W. Kim, 2010, Internal Defect Minimization of Die Cast Impeller Blade Using Taguchi's Design of Experiment, Trans. Mater. Process., Vol. 19, No. 3, pp. 173~178.
- [5] J. H. Park, C. W. Jang, S. K. Kim, S. H. Han, Y. K. Seo, C. G. Kang, J. H. Lee, 2005, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Spring Conf.(C. G. Kang), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 415~418.
- [6] S. J. Kim, S. E. Park, I. H. So, 2005, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Spring Conf.(C. G. Kang), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, p. 344.
- [7] E. K. Jeon, J. Y. Park, E. M. Park, 2007, Application Trend of Aluminum castings in Automotive Component, J. Kor. Foundry Soc., Vol. 27, No. 21, pp. 20~23.
- [8] K. Takao, 2009, Die Casting Technology for Welding Application, J. Jpn. Foundry Eng. Soc., Vol. 81, No. 5, pp. 249~253.
- [9] B. Andresen, 2005, Diecasting Engineering, Marcel Dekker, New York, USA, pp. 33~42.
- [10] K. Y. Kim, S. M. Lee, 1995, Determination of Gas Content in Aluminium Alloy Melt, J. Kor. Foundry Soc., Vol. 14, No. 3, pp. 205~211.