

자동차용 밸브 하우징의 2 캐비티 다이캐스팅 성형해석에 관한 연구

이종형[#], 이창현^{*}, 이상영^{**}, 하홍배^{***}

A Study on the Forming Analysis of the 2 Cavity Die Casting for Automobile Valve Housing

Jong-Hyung Lee[#], Chang-Heon Yi^{*}, Sang-Young Lee^{**}, Hong-Bae Ha^{***}

ABSTRACT

Al used in automobiles is mostly material, and according to the innovation of technique is in rapid development. Al die casting is an important field as today's trend of lightweight on automobiles. Valve housing in steering system improves driver's controlling. The valve housing which is widely reliable to the most automobiles are developed this moment in our automobile industry. Therefore, they are produced by casting method which cost three times or even more expensive in production. If valve housing which is a part of steering system is produced by gravity casting, the space for manufacturing equipment will be increased, and more time and workers would be brought into service. For such reason, die casting would replace gravity casting in order to minimize cost of time, manpower, and working space. This study is the forming analysis of the 2 cavity die casting for automobile valve housing.

Key Words : Gravity Casting(중력주조공법), Die Casting(다이캐스팅), Valve Housing(밸브 하우징), Air Vent(공기배출구), Blow Hole(기포)

1. 서 론

현대문명의 꽃이라 표현되는 자동차는 우리의 일상생활에 없어서는 안 될 문명의 이기로서 국가적 차원에서 다루어야 할 중대요소이다. 자동차 공업의 중

요성은 누구나 충분히 인식하고 있으며, 국가의 경제 발전에 따라 이루어진 자동차의 첨단화, 고속화 및 대형화 추세에 있는 자동차는 기계 및 부품으로 구성되어 있으면서도, 항상 주행을 한다는 동적인 특성과 기능을 만족시켜야 한다는 대 명제가 따르고 있다. 현재는 연비를 고려하여 자동차의 경량화에 많은 관심과 연구가 진행되고 있는 실정이다¹⁾.

알루미늄(Al) 재료는 경량화 수단으로써 많이 이용되고 있다. 자동차에 사용되는 알루미늄 부품은 대부분이 주조재이고 주조기술의 혁신에 따른 경량화로 대용이 급속하게 진전되고 있다. 이러한 점으로 보아 알루미늄

교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : leejh@kumoh.ac.kr

* 금오공과대학교 대학원 생산기계공학과

** 한국폴리텍VI 대구대학 컴퓨터응용기계과

*** 평화기공주식회사

미늄 다이캐스팅은 매우 중요한 분야라 할 수 있다.

자동차 조향장치의 밸브 하우징 부품은 운전자의 조작력을 감소시키기 위해 유압시스템의 장치가 들어 있는 장치의 부품으로 자동차 조향의 주요 기능을 담당하고 있다.

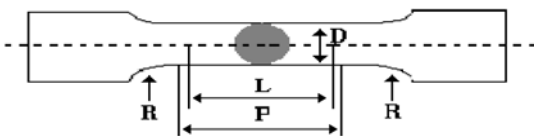
현재 우리나라에는 아직 신뢰할 수 있는 주조공법이 개발되지 않아 제품 생산비용이 3배 이상 소요되는 중력주조 공법(Gravity casting)으로 제품이 생산되고 있는 실정이다²⁾.

본 논문은 기존의 주철 주물로서 제작되어 왔던 자동차 조향장치의 일부분인 밸브 하우징 부품을 350ton 알루미늄(Al) 다이캐스팅을 이용하여 기존의 500ton 이상의 장비에서 생산되는 것 보다 동등 그 이상의 기능을 만족하고자 하였으며, 각각의 다이캐스팅 공법별로 최적의 성형 조건을 찾기 위한 해석에 연구 목적이 있다.

2. 실험방법 및 조건설정

2.1 인장 시험 시편 및 화학적 조성

다이캐스팅용 Al 합금은 JIS H 5302에 7종류를 규정하고 있지만, 그 중 ADC 12 합금은 일본 및 국내 수요의 70%를 차지하는 대표적인 합금이다. 인장시험 시편을 만들어 기계적 성질을 확인해 보았다. 시편의 규격은 KS B 0801의 4호 시편으로 하였으며, Fig. 1과 같은 형상으로 기계가공을 한 후 KS B0802-83의 규정에 의해 시험하였다. 또한 시편의 화학적 조성은 Table 1과 같다.



D	L	P	R
14mm	60mm	60mm	16mm이상

Fig. 1 Tensile test specifications

Table 1 Chemical compositions for test pieces

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn
1.5~3.5	9.6~12.0	≤0.3	≤1.0	≤0.9	≤0.5	≤0.5	≤0.2

2.2 내부 기포 검사

350ton의 다이캐스팅 장비에서 제조되어진 밸브 하우징 내부의 기포를 검사하기 위하여 X-Ray 판정법, Color check법, 단면 절단을 이용하여 밸브 하우징 내부의 기포를 검사하였다.

내부 기포검사를 하기위해 주조압력 856(Kgf/cm²), 냉각시간 9(sec), 고속으로 주입시 속도는 2.6(m/s)의 조건하에서 다이캐스팅으로 성형된 밸브 하우징을 시험체로 삼았다. X-Ray검사 조건은 배율을 100%로 하였으며, 전압과 전류는 90kv 5mA로 설정하여 밸브 하우징의 부위별로 검사 하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 검사할 부분을 나타내었다.

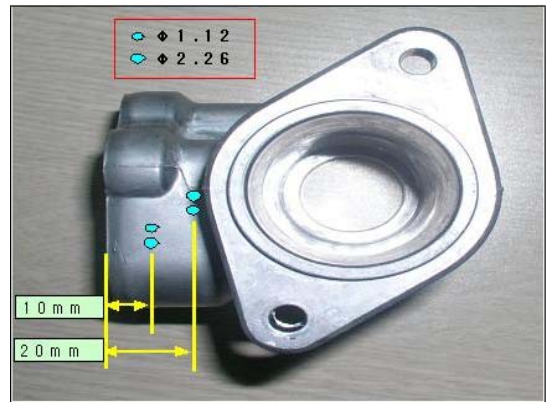


Fig. 2 Hole processing part



Fig. 3 Master Instrumentation

Color check를 수행하기 위해서는 우선 시험체의

표면에 침투액을 적용하고 균열 등의 결함에 침투시킨다. 그런 다음 탐상면의 과잉 침투액을 제거한 후 현상제를 뿌리면 결함 부분에 침투한 액이 현상액으로 흡입되어 지시를 형성함으로써 작은 결함이라도 육안으로 확실하게 확인할 수 있게 된다³⁾. Fig. 4는 Color check를 이용하여 내부의 기포 검사를 하기 위하여 밸브 하우징에 침투액을 침투 시킨 모습을 나타내었다.



Fig. 4 Interior fish sound examination by color check

가공된 AI 재질의 밸브 하우징은 전량 규격을 만족시켜야 한다. 또한 가공된 다이캐스팅 공법에 의해 제조된 밸브 하우징은 가공 후 고압 유압에서의 누설을 방지하기 위해서 함침시켜야 한다⁴⁾. 하우징은 아크릴 에스테르 수지 상당품으로 함침 시킨다. 함침 후에는, 표면에서 수지를 씻어내기 위해서 세척을 해야 한다.

Table 2의 조건으로 시험을 실시한 후 검출 능력 기준값 이하의 제품은 합격으로 하였다.

Table 2 Air leak test conditions

Pressure	5 ~ 7 kgf/cm ²
Pressure time	10 ~ 20 sec
Defect time	5 ~ 7 sec
Equivalent time	10 ~ 20 sec
Defectable standard	1mm H ₂ O/sec (10Pa/sec)
Volume	150cc /spec.

2.3 공법별 기포 검사

기포 크기가 0.3mm Leak 이하를 만족시키는 가장

적합한 제조 공법 및 금형 방안을 설정하기 위하여 Chill vent 공법과, Chill vent공법 + 부분 squeeze공법, 진공공법 + 부분 squeeze공법 3가지 공법을 적용하여 가장 최적의 공법을 찾아보았다. Fig. 5은 엔드홀 부분의 시료 채취부분을 보여준다.



Fig. 5 Sample specimen part

다이캐스팅 주조법은 응고 말기의 수축부위에 대한 용탕 공급이 원활하지 못할 때 발생하는 수축공은 적절한 단일방향 凝고에 의해 제거가 가능하다⁵⁾. 본 연구에서는 다이캐스팅을 함에 있어 기존의 오버플로우 대신에 Chill vent를 설치하여 내부 기포 발생을 억제하였다.

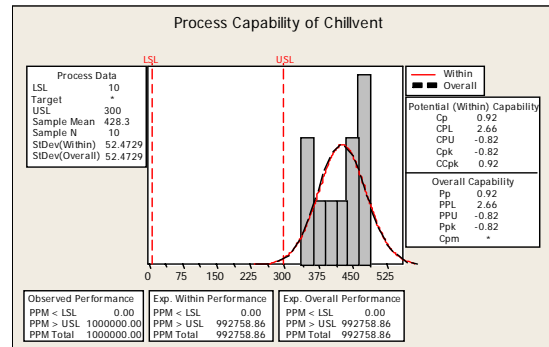


Fig. 6 Chill vent method for analysis

Fig. 6은 Chill vent공법의 해석을 나타낸 것이고, Fig. 7은 성형품의 조직을 해석해본 결과 조대한 응고조직과 기포가 가장 많이 나타남을 알 수 있는 시료의 조직 사진이다.



Fig. 7 Formation picture of chill vent method

squeeze 주조법은 부분가압 주조법이라고도 불리지는 주조 기술이다. 액상금속이 체적변화를 하는 응고 과정에 고압력을 가하여 주조결함의 발생을 제어하고 내성 및 강도가 향상된 고품질의 주조제품을 얻는 방법이며 최고 수준의 주조품질을 얻을 수 있는 방법

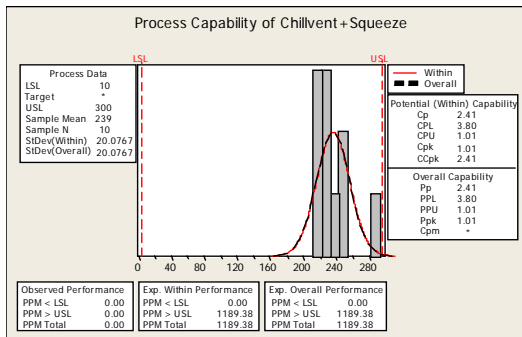


Fig. 8 Chill vent method and squeeze method for analysis

이기도 하다⁶⁾. 다이캐스팅법도 용탕 주입시에는 고압이 가하여지지만, 응고 도중에는 충분히 가압되지 않는다. Fig. 8은 Chill vent에 부분 squeeze 공법을 조합하여 분석한 것이고, Fig. 9는 chill vent와 부분 squeeze 공법을 조합하여 성형하였을 때, Chill vent 공법만 사용한 것 보다 기포수가 적게 나타나며, 조직의 크기 또한 미세하게 나타남이 확인할 수 있는 조직 사진이다.

본 연구에서 사용한 진공 주조의 진공도는 5~10mmHg 정도의 범위에 있다⁷⁾. 다음의 Fig. 10은 진공공법과 부분 squeeze공법을 조합하여 성형된 밸브 하우징의 내부 기포수를 분석한 것이고, Fig. 11은 진공과 부분 squeeze 공법을 조합하여 성형하였을 때, 가장 적은수의 기포가 생기며, 조직 또한 가장 미세한 응고조직을 가지는 것을 확인할 수 있는 조직 사진이다.

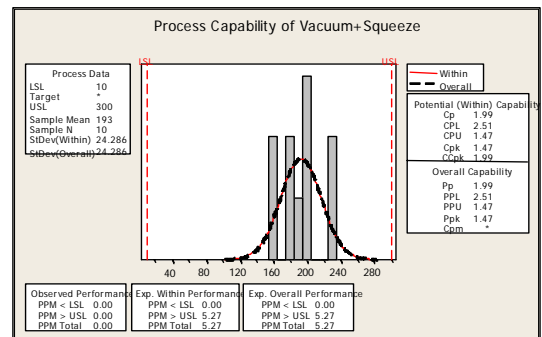


Fig. 10 Vacuum method and squeeze method for analysis



Fig. 9 Formation picture of chill vent method and squeeze method



Fig. 11 Formation picture of vacuum method and squeeze method

2.4 해석 조건 설정

다이캐스팅을 하기에 앞서 Anycasting 이라는 컴퓨터 프로그램을 이용하여, 금형구조를 분석하였다. Fig. 12는 각각의 형상 및 최소 두께를 부위별로 나타낸 것이다.

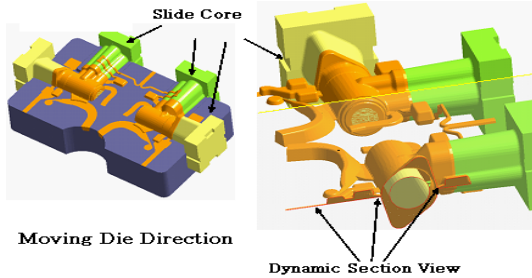


Fig. 12 Moving die direction and dynamic section view

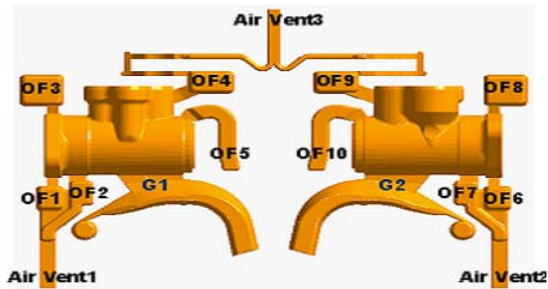


Fig. 13 Design basis way

Fig. 13은 기존의 밸브 하우징의 다이캐스팅 설계를 보여 주고 있다. 이 기존의 디자인을 아래의 조건과 같이 수정하였다.

- 1) 러너 설계 : 러너를 추가하여 제품 상부의 기포 및 수축 발생 부위별 결함을 제거하고자 하였다.
- 2) 오버플로우 설계 : 용탕이 충전될시 압력 손실 발생지역의 불필요한 부분을 삭제 하였으며 또한 게이트에 변경을 가하였다.
- 3) 에어벤트 설계 : 압력 손실을 방지하기 위해, 공기 배출구 두 곳을 제거 하였으며, 기포 배출을 용이하게 하기 위해서 제품 상부에 공기 배출구를 연결한 형상으로 설계하였다.

ADC12 알루미늄 합금의 주조조건으로 용탕의 주입온도는 680℃로 설정하였다. 또한 금형의 재질은

SM45C, 초기 온도는 90℃로 설정하였으며, 코어의 재질은 SKD61, 초기 온도는 260℃로 설정하였다. 그리고 플런지는 직경 70mm로 설정하였다. Table 3은 주조 조건을 나타내었다.

Table 3 Die casting requirement

Alloy steel		ADC12
Pour temperature		680℃
Die casting	material	SM45C
	initial temp.	90℃
Core	material	SKD61
	initial temp.	260℃
Flange	diameter	70mm

본 연구에서 실험한 플런지의 속도 조건은 Table 4와 같다.

Table 4 Speed variations for experiment

Low speed condition	1speed	2speed	3speed	high speed condition	
Low speed range length(mm)	110	200	230	high speed range length(mm)	250
Low speed (m/sec)	0.08	0.25	0.35	high speed (m/sec)	2.6
Biscuit thickness (mm)	15				

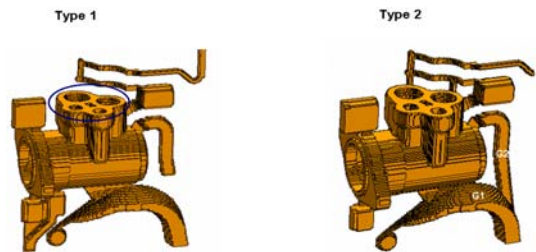


Fig. 14 A blow-hole and charge conduct

기존의 설계는 게이트 단면적을 104.52mm²로 하였으며 제품 내에서 용탕이 충전되기 전에 고속으로 전환하게 하였다. 또한 게이트내 속도는 95.73m/sec로 설정하였다. 또한 수정된 설계의 게이트 단면적은 총 117.54mm²로 설정하였으며, 고속 전환 시점을 제품 내

에서 용탕이 5% 충전된 후에 고속으로 전환 하였다. 또한 게이트 내에서 속도는 85.12m/s로 설정하였다.

Fig. 14는 용탕이 대기 중에서 노출됨에 따라 발생 되는 산화물의 양을 예측하였고, 결합의 위치 및 상대적인 위험성을 고려하였다.

2.5 해석에 의한 도면 및 금형 제작

Anycasting을 이용하여 전체적인 충전 양상 및 부위별 충전양상을 분석하여, 최적의 조건으로 밸브 하우징을 제작할 수 있는 금형 도면을 작성하였다.



Fig. 15 Mold of cavity open state



Fig. 16 Mold of cavity close state



Fig. 17 Valve housing

Fig. 15는 금형 도면을 기초로 제작된 2 캐비티를 이용한 다이 캐스팅 금형의 열린 상태이고, Fig. 16은 금형의 닫힌 상태이다.

Fig. 17은 실제로 350ton 다이 캐스팅 장비에서 성형된 밸브 하우징의 모습이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 인장시험 및 X-Ray 실험 결과

인장 시험의 결과 값은 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Tensile test result

	X1	X2	X3	Max
Upper yield point	2.59	2.90	2.71	2.90
Breaking point	4.37	4.85	4.65	4.85
Yield point	22.43	28.53	26.40	28.53

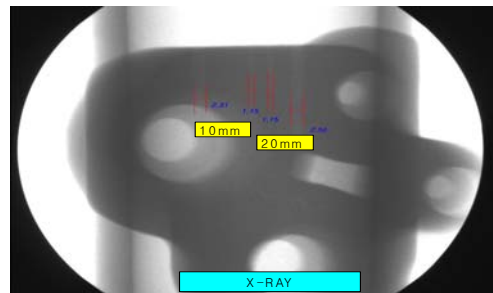


Fig. 18 X-Ray transmission measurement of hole

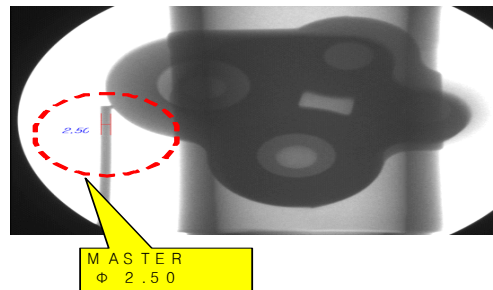


Fig. 19 Master instrumentation

Fig. 18은 밸브 하우징의 구멍 가공부분을 촬영한

것이고, Fig. 19는 Master instrumentation 부분을 X-Ray 촬영한 것이다. 10mm 가공위치에서는 X-Ray 투과 계측치수가 $\varnothing 1.15$, $\varnothing 2.31$ 이었으며, 20mm 가공 위치에서는 $\varnothing 1.15$, $\varnothing 2.50$ 으로 나왔다.

3.2 Color Check 및 단면절단 실험 결과

Table 6에서는 Color check의 검사항목 및 검사 결과를 보여주고 있다. 이때 중요부위의 기포는 최소한 2mm 이상의 거리를 두고 있었다.

Table 6 Color check's examination and result

Examination item	Spec. (specification)	Result
Machine part blow hole size(special part)	$\varnothing 1.0$ MAX	$\varnothing 0.4$
Machine part blow hole size(etc)	$\varnothing 2.0$ MAX	$\varnothing 0.9$
Non machine part blow hole size	$\varnothing 3.0$ MAX	$\varnothing 1.7$
Blow hole cluster type size	KSD 0241 -2	adeq.

3.3 각 공법별 실험 결과

공법1은 Chill vent 공법, 공법2는 Chill vent 공법 + 부분 squeeze공법, 공법3은 진공공법 + 부분 squeeze 공법으로 밸브 하우징을 성형하였을때 기포수를 비교해본 결과를 Table 7에 나타내었다. 밸브 하우징의 불량기준은 평균 300이다.

Table 7 Each method of construction comparative analysis (unit : μm)

No	Method 1	Method 2	Method 3
1	485	254	162
2	378	234	198
3	487	231	178
4	408	224	187
5	356	221	201
6	425	231	184
7	475	286	163
8	456	223	225
9	455	245	198
10	358	241	234
avg.	428.3	239	193

냉각배출 공법만 적용하였을 때에는 기포수가 진공 공법 + 부분 squeeze공법으로 성형된 밸브 하우징과 약 2.2배 이상 기포수가 많은 것을 알 수 있었다. 또한 진공 공법 + 부분 squeeze공법으로 성형되었을 때 기포수가 가장 적었으나, 부수적으로 진공장비의 추가 및 진공 블럭의 유지·청소등에 많은 공수가 투입되므로 비용이 많이 들게 된다. Chill vent 공법 + 부분 squeeze 공법으로 성형된 밸브 하우징은 평균 기포수가 239개로 양호한 수준이며, 별도의 공수가 투입되지 않으면서도, 진공 공법 + 부분Squeeze 공법과 기포수의 차이가 적으므로 가장 이상적임이 증명되었다.

3.4 일반조건의 전체 충전 양상 해석

Fig. 20에서 볼 수 있듯이, 게이트부위에서는 고속으로 충전할 경우 용탕이 제품과 충돌 후 와류가 형성되는 것을 알 수 있다. Fig. 21에서는 중력방향으로 설치된 오버플로우를 통하여 용탕이 배출되면서 충전압력이 저하 되게 하는 요소로서 충전에 방해작용을 하는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 22에서는 기포 고립 지역이 발생하였다. 그리하여 수정방안으로 기포를 배출 시킬 수 있는 배출구 설치가 필요함을 알 수 있었다. 또한 기포 고립 지역에 공기배출구를 연결하여, 기포 배출이 필요함을 알 수 있다. 위와 같은 이유로 기존의 2 캐비티를 이용한 다이 캐스팅을 수정하였으며, 다음의 Fig. 23은 기존의 다이 캐스팅을 해석을 통하여, 최적의 러너 및 오버플로우를 설계한 결과를 나타낸 것이다.

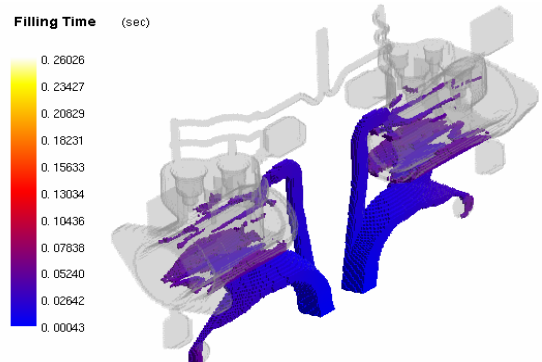


Fig. 20 Whole change image

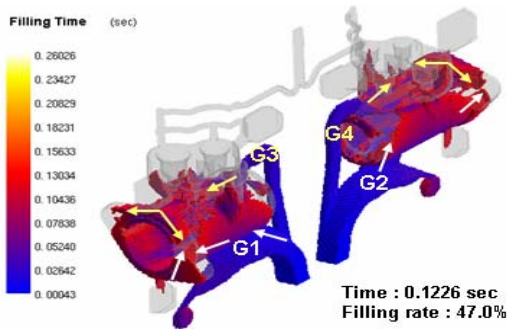


Fig. 21 Charging pressure decline

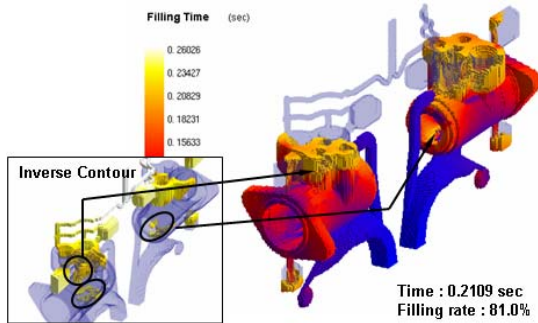


Fig. 22 A blow-hole area

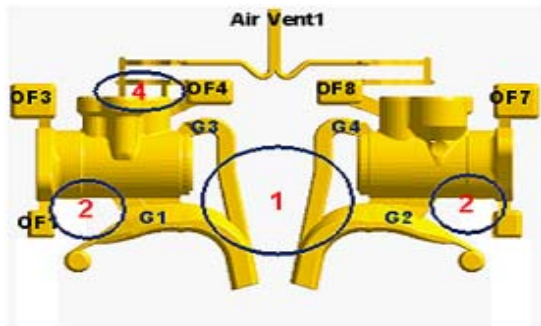


Fig. 23 Mold adjustment

4. 결 론

본 연구에서는 2 캐비티를 이용한 자동차 조향장치 밸브 하우징을 기존의 500ton 이상의 기계가 필요한 중력주조 방식에서 350ton의 다이캐스팅으로 성형하기 위하여, 밸브 하우징을 anycasting 프로그램을

이용하여 해석한 후 그 결과를 고찰하여 새로운 금형을 개발하였으며, 그 기계적 성질 및 적용성 여부에 대하여 검토하였다. 다음은 본 연구의, 주요한 연구 결과이다.

- (1) 기존의 500ton 중력주조에서 문제점이었던, 상부에 기포 고립 및 용탕을 고속 충전할 때 와류가 형성되는 것을 Vent를 설치하여 개선할 수 있다.
- (2) Anycasting s/w를 이용하여, 수축 결합 및 성형 시 압력손실을 현저하게 줄일 수 있었다.
- (3) 다이캐스팅 공법별로 성형품을 분석해본 결과 Chill vent공법만 적용하였을 경우, 내부기포가 많았으며 응고조직이 조대하고, 불량수준이 99%로 적용이 불가능함을 알 수 있었다.
- (4) 진공과 부분 squeeze를 적용하였을 때, 평균기포수가 193개로 가장 좋은 품질을 얻을 수 있었으며, 미세한 응고조직을 보였으나 부수적인 공수 투입이 많아 실제 적용하기에는 부적합함을 알 수 있었다.
- (5) 기존의 500ton 중력주조 보다 350ton의 Chill vent 공법과 부분 squeeze공법을 조합한 다이캐스팅이 효율적인 금형 방안이 되었다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 산업기술개발사업비에 의하여 연구되었으며 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Kim, J. H., Manufacture technology of aluminum die casting, daegwang, pp. 387-399, 1994.
- 2.李宗炯 外, 最新 機械工作法, 文運堂, pp. 76-82, 2004.
3. Kim, E. S., "Special Die casting Technology," Journal of the korean foundrymen's society, Vol. 17, No. 6, pp. 527-530, 1997.
4. 松田福久, アルミニウム合金の 表面厚膜硬化技術, 金屬系材料研究開發センタ, pp. 74-89, 1995.

5. Kim, K. Y. and Yi, M. S., "Progress of the Die casting Technology and Its Application," Journal of the korean foundrymen's society, Vol. 15, No. 4, pp. 345-346, 1995.
- 6.李宗炯, 機械材料學, 文運堂, pp. 177-186, 2000.
7. Taylor, H. F., Foundry engineering, John woley & sons, pp. 271-279, 1978.