

고압다이캐스팅을 이용한 자동차 밸브하우징의 주조방안 및 기계적 특성에 관한 연구

A Study on the Mechanical Characteristics and Mold Technique of the Automobile Valve Housing using High Pressure Die Casting

이종형*, 이창헌**, 이상중***

Jong-Hyung Lee*, Chang-Heon Yi**, Sang-Joong Lee***

<Abstract>

Today's automobiles are changing into miniaturization and light weight for saving natural resources and energies. In order to raise the sufficiency of fuel consumption, new mechanism and components are required. Therefore, the expectations on the new materials are very high. Especially, Al materials are widely used to reduce the motors weight. Al using in automobiles is mostly casting material, and the material is developing rapidly in step with technical innovation. Al die casting has become an important field, as we are turning today's motor into light weight. One of the parts in steering system, valve housing, plays a role to reduce the operating effort of drivers. If valve housing being a part of steering system is produced by gravity casting, the space that manufacturing equipments are installed will be increased, and more energies and workers will be needed.

Keywords : Valve housing, Die casting

1. 서 론

최근 자동차 부품들의 경량화와 더불어 내구성이 중요하게 부각되고 있다. 자동차의 경량화는 연비향상뿐 아니라 최근 전 세계적으로 환경문제가 크게 대두되고 있으므로 자동차의 배기가스를 절감시키는 데에도 크게 기여하고 있다. 자동차 조향장치의 valve housing 부품은 운전자의 운전 조작력을 감소시키기 위해 유압시스템의 장치가 들어가 있는 부품

으로 자동차 조향의 주요 기능을 담당하고 있다. 알루미늄 다이캐스팅은 용탕을 고속, 고압으로 사출 충전 하여 주조하기 때문에 생산되는 제품은 비교적 정밀한 제품을 대량생산이 가능하므로 자동차, 전자, 농기계, 광학기기, 사무용 기기 기타 산업기계의 부품으로 광범위하게 사용되어 그 수요는 계속 증가 추세에 있다.

다이캐스팅업계에서는 제품 개발기간 및 생산 원가의 단축, 고품질을 요구 받고 있으며, 최근

* 금오공과대학교 기계공학부

** 금오공과대학교 대학원 생산기계공학과

**** 영주 시청

* Professor, School of Mechanical Engineering, K.I.T

** Student, School of Mechanical Engineering, K.I.T

**** Yeongju City Hall

대두되고 있는 주조 CAE(Computer Aided Engineering) 기술은 이러한 요구사항을 만족시킬 수 있는 가장 효과적인 방법으로 각광을 받고 있는 실정이다.⁽¹⁾

본 연구에서는 최적의 금형설계 및 구조방안 확립으로 내압성 및 기밀성 등 성능을 향상시키는 자동차 valve housing의 최적구조방안 선정과 사출속도, 용탕의 주입온도, 금형온도 등의 작업조건에 따른 시제품을 X-ray에 의한 내부결함측정과 미세조직을 규명하였으며 또한 제조된 시제품에 대해 성능시험을 통하여 제품의 신뢰성을 검토하였다.

2. 구조 분석 및 실험 방법

2.1 제품의 형상 및 금형 구조 분석

밸브하우징의 형상모델링은 3D-CAD를 이용하였고, 모델링 후 STL(Standard Template Library) file로 변환 후 데이터 인터페이스 및 금형 모델링을 통해 전처리 공정을 행하였으며, 다이캐스팅을 하기에 앞서 AnyCasting 컴퓨터 프로그램을 이용하여 제품 및 금형구조의 특성을 분석하였다. 주조에서 나타나는 주요결함의 원인들을 특성별로 분류하면 금형의 기계적인 문제, 용융금속의 문제, heat flow에 의한 결함, 용탕의 흐름으로 인한 결함으로 분류할 수 있지만 용탕이 신속하게 충전 되어 heat flow의 영향이 적은 다이캐스팅 구조법에 있어서 구조결함의 85%가 용탕의 흐름에 의한 것으로 보고 되고 있다.⁽²⁾ Fig. 1과 Fig. 2에서 고정측 금형과 가동측 금형 각각의 형상 및 최소 두께를 부위별로 검토하였다. 또한 제품 및 금형 구조의 특성 파악에 중점을 두었다.

2.2 런너 및 오버플로우 설계

Fig. 3은 일반적 기본방안 밸브하우징의 다이캐스팅 설계도를 보여주고 있으며, Fig. 4는 기본방안에서 런너부, 게이트부, 오버플로우의 수정된 밸브하우징의 다이캐스팅 설계도를 보여주고 있다. 기존의 밸브하우징 설계도를 아래의 조건과 같이 수정하였다.

1) 런너 설계 : G1으로만 용탕을 충전시킬 경우 하부부터 차분하게 충전되지만 상부지역(core2)에 기포 고립지역이 예상되므로 런너를 추가하여 용탕의 충전거동을 개선하여 제품 상부의 기포 및 수축 발생

부위별 결함을 제거하고자 하였다.

2) 오버플로우 설계 : 오버플로우의 설계변경으로 용탕 충전 시 압력손실 발생지역의 불필요한 부분을 삭제 하였으며, 또한 용탕충전 시 게이트주변의 와류현상을 완화하고자 하였다.

3) 에어벤트 설계 : 용탕충전 시 압력 손실을 방지하기 위해, 에어벤트 두 곳을 제거 하였으며, 기포 배출을 용이하게 하기 위해서 제품 상부에 에어벤트를 연결한 형상으로 설계하였다.

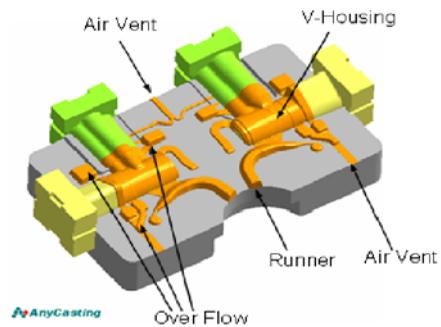


Fig. 1 Fixed die.

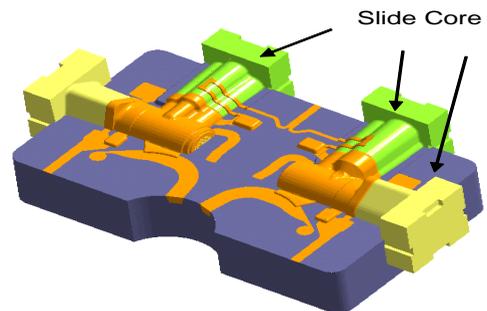


Fig. 2 Moving die.

2.3 주조 조건설정

밸브 하우징의 기본방안 설계와 수정된 설계방안의 충전해석 및 충전양상분석을 상호비교하기 위하여 주조조건으로 밸브 하우징의 재료는 ADC12 알루미늄 합금을 선택하였으며, 용탕의 주입온도는 680℃로 설정하였다. 또한 금형의 재질은 SM45C, 초기 온도는 230℃로 설정하였으며, 코어의 재질은 SKD61, 초기 온도는 260℃로 설정하였다.

그리고 플런저는 직경70mm로 설정하였으며, 기본적 요구사항은 Table 1에 나타내었으며, Fig. 5는 밸브하우징의 사출방향과 밸브하우징 금형을 3차원 모델링으로 나타내었다.

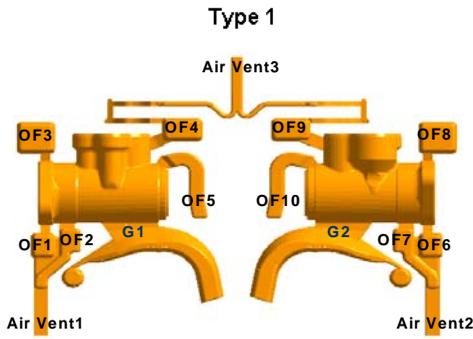


Fig. 3 Current design.

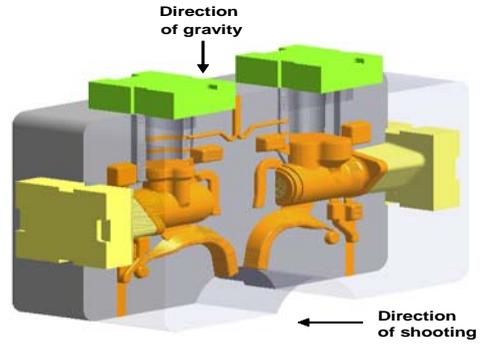


Fig. 5 Valve housing mold.

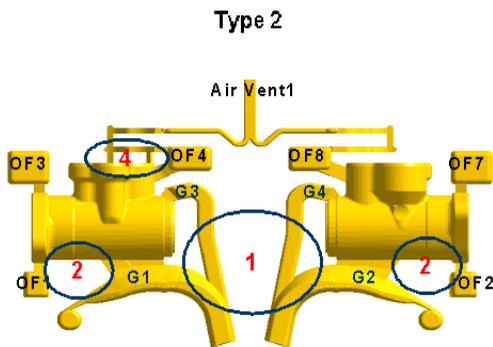


Fig. 4 Modified design.

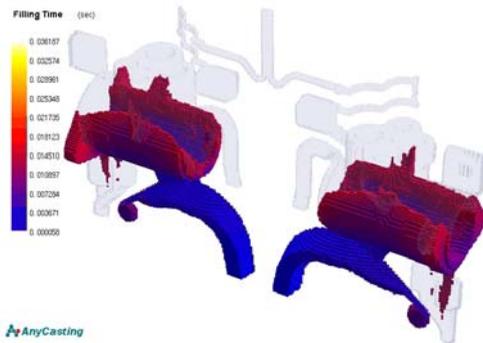


Fig. 6 Filled up image of the type1.

Table 1 Die casting requirement

	aluminum alloy	ADC12
	temperature	680 °C
cavity	material	SM45C
	initial temperature	230 °C
core	material	SKD61
	initial temperature	260 °C
plunger	diameter	70mm

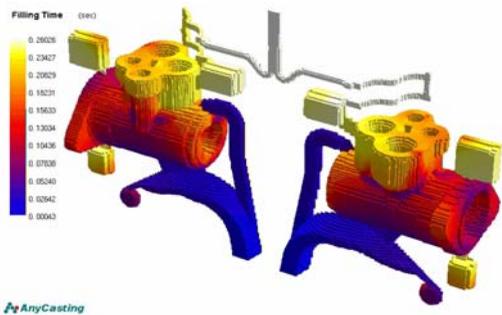


Fig. 7 Filled up image of the type2.

2.4 기본방안 및 수정방안 조건에서의 충전 양상 분석

기본방안 및 수정방안의 조건에서 전체적으로 용탕이 주형에 충전되는 양상, 금형상부에서 용탕의 유동해석, 용융되는데 필요한 시간 해석을 AnyCasting을 이용하여 분석하였다.

Fig. 6은 기본방안에서 전체충전양상을 시간에 따라 분석한 것이며, Fig. 7은 수정된 방안에서의 전체 충전양상을 시간에 따라 분석한 것이다.

Fig. 8에서 볼 수 있듯이 알루미늄 다이캐스팅에서는 용탕이 고속으로 사출되기 때문에 게이트부위 부근에서 용탕이 캐비티 내면에 충돌하면서 와류가 형성되는 것을 A지역에서 볼 수 있다. Fig. 9에서는 중력방향으로 설치된 오버플로우(B)를 통하여 용탕이 배출되면서 충전압력이 저하되게 하는 요소로서 충전에 방해 작용을 하는 것을 알 수 있다. 대체로 충전압력이 낮아지면 수축기포(shrinkage hole), gas hole 등의 발생이 증가한다. 일반적으로 알루미늄 다이캐스팅에 있어서 주물기포의 완전한 방지는 어렵지만,⁽³⁾ 주물기포 발생을 적게 하던가 또는 주물

의 중요한 부분에서 중요하지 않은 부분쪽으로 분산 시키던가 하는 것이 중요한 사항이다.

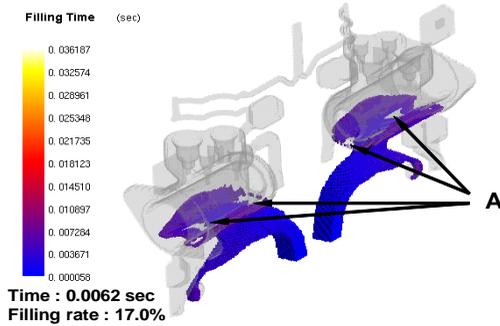


Fig. 8 Partial filling image of the type1.

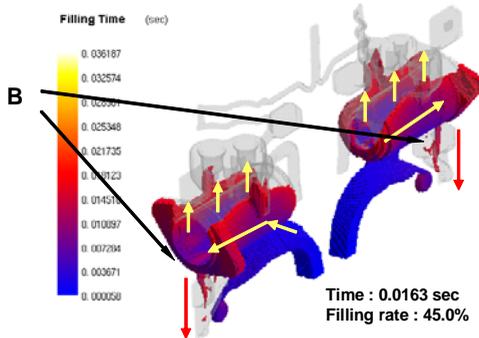


Fig. 9 Pressure decline of the type1.

다이캐스팅 주물의 결함은 기체유입에 의한 기공과 수축공의 발생이 중요결함의 원인이다. 알루미늄 합금의 수축률은 조성에 따라 다르기는 하지만 응고시에 3~6%나 수축하며 보통 다이캐스팅에서는 기체가 유입되기 때문에 기포가 주물 전체에 분산하게 된다.⁽⁴⁾ 두께가 6mm 이하이면 300기압까지 내려가도 강도는 떨어지지 않지만, 두께가 10mm 이상으로 클 경우에도 압력이 낮으면 게이트로 밀어 넣은 용탕이 흐르기 어려워진다. 응고수축에 적절하게 대처하기 위해서는 적합한 용탕양을 주입하는 데는 큰 압력이 필요하다. 이 필요압력은 주물 형태에 따라서도 다르기 때문에 어떤 값이 적당하다고는 정할 수 없지만 주물이 클수록 용탕을 멀리까지 보내야 되기 때문에 높은 압력이 필요하게 된다.⁽⁵⁾

한편 탕구에서 먼 오버플로우 근방부의 구조결함은 용탕속도가 느리게 되어 그 발생수가 증대한다. 즉 최종 충전부의 구조결함은 용탕속도가 급격히 저하되기 때문에 발생한다고 생각되고 구조결함의 발생에 용탕속도가 관계하고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 10은 기포고립지역 발생부위를 색상을 달리하여 시

물레이션을 실시하였으며, 이로 인해 기포고립지역 부위를 보다 명확하게 알 수 있다. Fig. 11에서 밸브하우징 상부 유압포트부위(C,D부위)에 기포 고립 지역이 발생하였으며, 수정방안으로 기포를 배출시킬 수 있는 개스벤트를 연결하여 기포 배출의 필요성을 알 수 있었다.

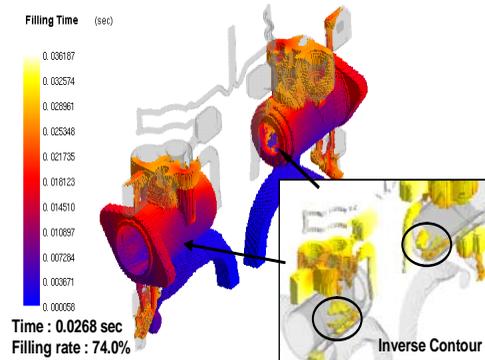


Fig. 10 A detailed blow-hole area of the type1.

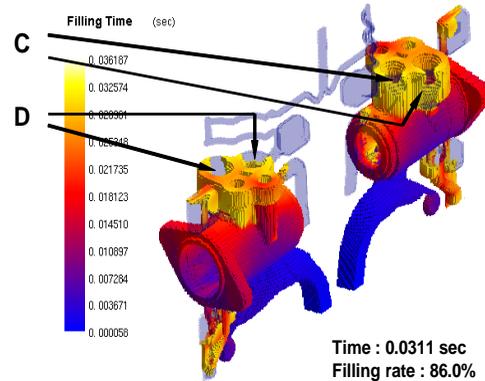


Fig. 11 A blow-hole area of the type1.

Fig. 12에서 볼 수 있듯이 수정된 설계방안에서도 게이트부위에서 고속으로 충전한 용탕이 캐비티 벽면과 충돌 후 와류가 형성되는 것을 기본방안과 동일하게 E부위에서 볼 수 있으며, Fig. 13 F부위에서는 G1, G2에서 주입되는 용탕과 G3, G4에서 주입되는 용탕이 제품중간에서 만나면서 기포가 고립되는 현상이 발생되고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 14는 기포고립지역 발생부위(G부위)를 색상을 달리하여 시물레이션을 실시하였으며, 이로 인해 기포고립지역 부위를 보다 명확하게 알 수 있으며, H부위에 에어벤트를 설치하므로 인해 유압포트부위의 기포 배출이 용이하여 기포 고립지역이 해소되었음을 확실하게 알 수 있다.

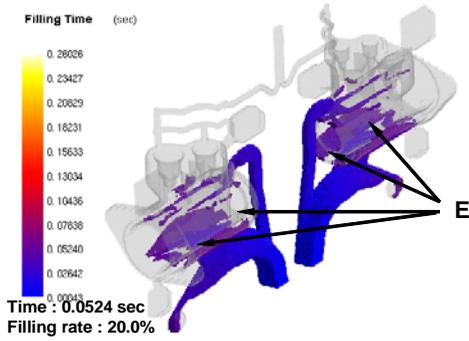


Fig. 12 Partial filling image of the type2.

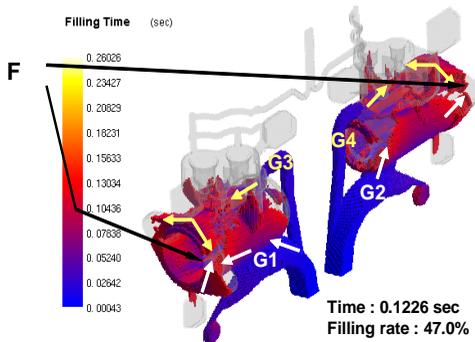


Fig. 13 A blow-hole area of the type2.

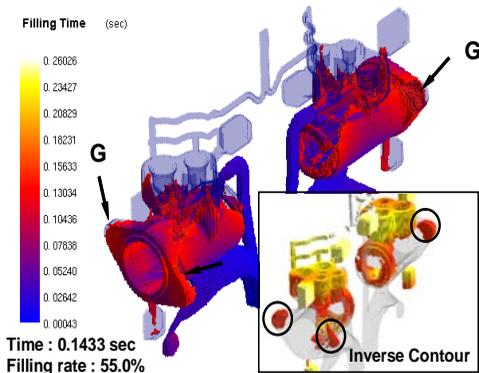


Fig. 14 A detailed blow-hole area of the type2.

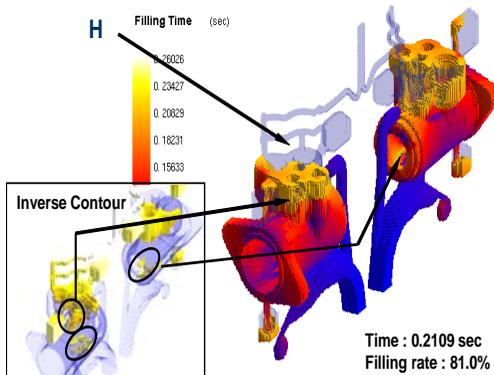


Fig. 14 A detailed blow-hole area of the type2.

2.5 X-ray 실험

내부 기포검사를 하기 위해 주조압력 856(Kgf/Cm²), 냉각시간 9(sec), 고속속도는 2.6(m/s)의 조건하에서 다이캐스팅으로 성형된 밸브하우징을 시험체로 삼았다. X-ray검사 조건은 배율을 100%로 하였으며, 전압과 전류는 90kv 5mA로 설정하여 밸브하우징의 부위별로 검사하였다. Fig. 15와 Fig. 16에 검사할 부분을 나타내었다.

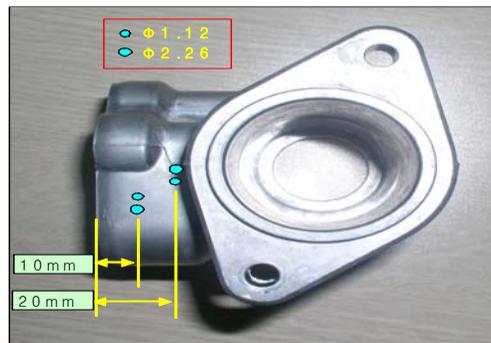


Fig. 15 Hole processing part.



Fig. 16 Master instrumentation.

2.6 컬러체크에 의한 실험

컬러체크를 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 된다.⁽⁶⁾ Fig. 17은 컬러체크를 이용하여 내부의 기포검사를 하기 위하여 밸브하우징에 침투액을 침투시킨 모습을 나타내었다.



Fig. 17 An inspection of interior a blow-hole using color check.

3. 실험결과

3.1 기포 및 개재물에 따른 충전해석 결과

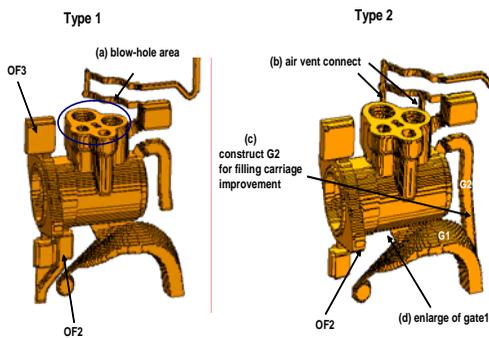


Fig. 18 A blow-hole and filling conduct.

Fig. 18의 Type1의 OF2는 용탕 충전 시 압력감소지역의 역할을 하므로 불필요한 오버플로우로서 Type2와 같이 제거를 하였으며, OF3은 적절하게 기포 및 개재물인 산화물, 이형제, 윤활제의 잔사(gas) 배출 역할을 하므로 처음 기본방안 설계 되로 배치하였다. (a)부위의 기포고립지역은 (b)와 같이 에어벤트를 연결하여 기포 및 개재물 배출을 용이하게 설계하였으며, (c)부위에서는 Core2 지역 충전기동개

선을 위해 G2를 설치하였으나 G1과 G2로 동시에 충전하면서 제품중간 부위에 기포고립지역이 발생하므로 기본방안인 Type1 방안이 양호한 것으로 판명된다. (d)부위는 제품하단부터 점진적인 용탕충전의 유도를 위해 게이트폭 확장이 필요하다.

3.2 해석에 의한 금형제작

Anycasting을 이용하여 전체적인 충전양상 및 부위별 충전양상을 분석하여, 최적의 조건으로 알루미늄 밸브하우징을 제작할 수 있는 금형도면을 작성하였다.

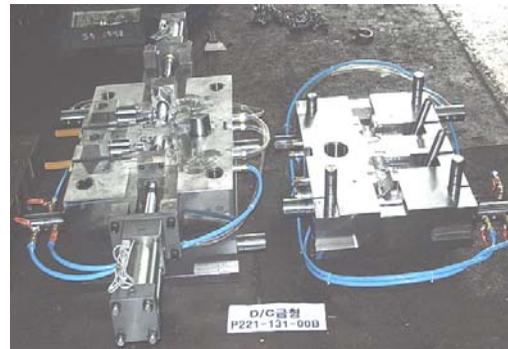


Fig. 19 Mold of cavity open.

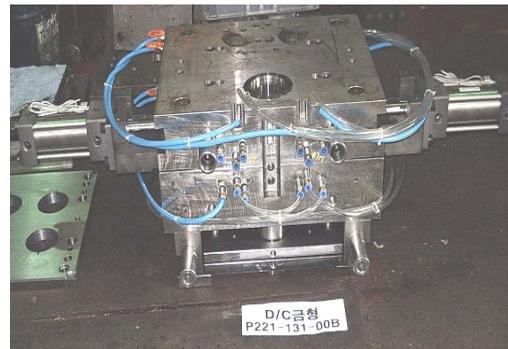


Fig. 20 Mold of cavity closed.

Fig. 19은 금형도면을 기초로 제작된 2캐비티를 이용한 다이캐스팅금형의 열린 상태이고, Fig. 20는 금형의 닫힌 상태이다. 이렇게 해석되고 제작된 350t 다이캐스팅금형 틀에서 알루미늄 밸브하우징을 성형하였다. Fig. 21에 실제로 350t 다이캐스팅장비에서 성형한 밸브하우징의 사진을 나타내었다.



Fig. 21 Valve housing.

3.3 X-ray 실험결과

350t 알루미늄 다이캐스팅으로 성형되어진 밸브하우징의 일부 단면을 잘라 내부기포를 컬러체크법과 X-ray투과법으로 검사하여 성형 시에 생긴 내부기포를 확인해 보았다. Fig. 22는 밸브하우징의 hole 가공부분을 촬영한 것이고, Fig. 23은 Master instrumentation 부분을 X-ray 촬영한 것이다. 10mm 가공위치에서는 X-ray투과계측치수가 $\varnothing 1.15$, $\varnothing 2.31$ 이었으며, 20mm 가공위치에서는 $\varnothing 1.15$, $\varnothing 2.50$ 으로 나왔다.

3.4 컬러체크 및 단면절단 실험결과

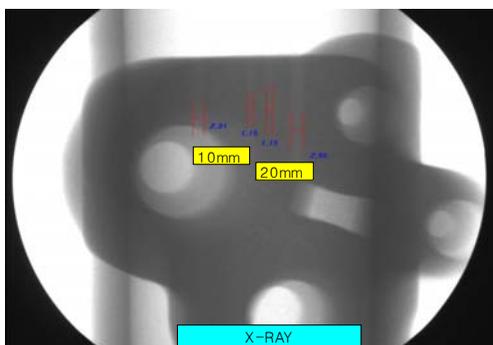


Fig.22 X-ray transmission measurement of holl processing department

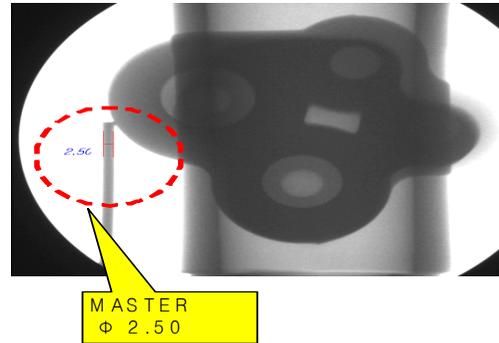


Fig. 23 Master instrumentation

다음의 Table 2에서는 컬러체크의 검사항목 및 검사결과를 보여주고 있으며, 이때 중요부위의 기포는 최소한 2mm 이상의 거리를 두고 있었다.

Table 2 Examination items and result of color check

Inspection items	Allowance	Result
working parts blow-hole size (main parts)	$\varnothing 1.0$ MAX	$\varnothing 0.4$
working parts blow-hole size (etc)	$\varnothing 2.0$ MAX	$\varnothing 0.9$
none working parts blow-hole size	$\varnothing 3.0$ MAX	$\varnothing 1.7$
size of density blow-hole	KSD 0241 2class	suitability

4. 결 론

본 연구에서는 기존에 500t 이상의 증력주조로 생산되던 자동차 조향장치의 부품인 밸브하우징을 새롭게 해석하고 실제 금형을 제작하여, 350t 다이캐스팅 장비에서도 성형될 수 있다는 것을 검토하였다. 이하의 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 자동차 조향장치 부품인 밸브하우징의 주조방안 최적화를 위하여 구조해석 및 유동해석을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 해석하였다.
- (2) 런너, 게이트의 최적화를 위하여 레이아웃을 설계하였으며, 설계를 바탕으로 Cast flow를 시뮬레이션을 통하여 최적으로 게이트, 오버플로우, 런너, 에어벤트의 위치를 선정할 수 있었다.

(3) 다이캐스팅 충전해석 프로그램인 Anycasting 을 이용하여 충전 해석하였을 때 수축결함, 기포방지, 성형 시 압력손실을 현저하게 줄일 수 있었다.

(4) 재료의 데이터베이스를 구축하기 위하여 성형 분석 하였으며, 제작된 밸브하우징의 내부기포를 조사하기 위하여 X-ray 검사법, 컬러체크법으로 내부 기포를 검사한 결과 전부 양호로 판정되었다.

(5) 기존의 500t 중력주조로 생산하던 밸브하우징을 350t의 다이캐스팅으로 성형할 경우 장비가 차지하는 면적 및 과도한 제품 성형시간, 불량률저하, 인력 및 생산비용의 절감을 얻을 수 있는 효율적인 방안이 될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

후 기

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

참 고 문 헌

- 1) J. H. Kim, Manufacture technology of aluminum die casting, daegwang, pp.129-144, pp. 387-399 (1994)
- 2)李宗炯 外, 最新 機械工作法, 文運堂, pp. 76-82 (2004)
- 3) 自動車の電子システム / 荒井 宏 著 Pp.117 ~ 121 (1994)
- 4) Doehler, H. H. "Die casting" pp. 470~482 (1991)
- 5) G. S Rak The Special die casting process design and analysis on automotive components Pp.43~46 (2001)
- 6) Easwaran, J "Advanced casting technology : proceedings of an International Conference on Advanced Casting Technology, Kalamazoo, Michigan, USA, 12-14 November pp. 252~258 (1986)

(2006년 7월 13일 접수, 2006년 11월 20일 채택)