

자동차 밸브바디 중간플레이트 성형해석에 관한 연구

장훈* · 성백섭⁺ · 차용훈(조선대학교)⁺, 김덕중(동아인재대학)⁺⁺, 이연신(송원대학)⁺⁺⁺

A Study on the Moulding Analysis of Automobile Valve Body Mid-plate

Jang Hun*, Back-Sub Sung⁺, Yong-Hoon Cha⁺, Duck-joong Kim⁺⁺, Youn-sin Lee⁺⁺⁺

Abstract

In the super slow speed die casting process, the casting defects due to melt flow should be controlled in order to obtain sound casting products. The casting defects that are caused by molten metal were cold shut formation, entrapment of air, gas, and inclusion. But the control of casting defects has been based on the experience of the foundry engineers.

The calculation of simulation can produce very useful and important results. The calculation data of die casting process condition from the computer simulation by the Z-CAST is made to insure that the liquid metal is injected at the right velocity range and that the filling time is small enough to prevent premature solidification. The parameters of runner shape that affected on the optimized conditions that was calculated with simple equation were investigated. These die casting process control techniques of automobile valve body mid-plate have achieved good agreement with the experimental data of tensile strength, hardness test, and material structure photographies satisfactory results

1. 서론

자동차산업의 성장과 함께 다이캐스팅의 생산기술도 급격히 진보되었으며, 새로운 사출방식의 주조기 개발과 주변기기의 자동화, 에너지절약을 위한 용해설비와 용해기술의 향상, 계측기술의 진보 등에 발전을 보였다^(1~3). 그러나 1997년 제2차 석유파동 이후 에너지 비용의 증가는 알루미늄 소재 생산에 큰 영향을 주어 재생 소재의 활용과 낮은 등급의 합금이 사용되었다. 그 때문에 현재까지 쌓아온 다이캐스팅의 품질유지와 고품질의 생산을 유지하기 위해 생산 기술이 한층 발전되었다.

알루미늄 부품의 사용이 보편화 된 최근에 와서, 승용차의 알루미늄화 움직임에 변화가 생겼다.

90년 이전에는 승용차의 부품을 알루미늄 단조품으로 경량화 하는 것이 보통이었는데, 91년 가을경부터, 이것을 알루미늄 주조품으로 대체하는 방향으로 흐름이 바뀌었다. 현재 미국의 자동차 메이커의 관심은 알루미늄 단조품이 아닌 새로운 주조법에 있다^(4~5).

원료 가격에서 비교하면 알루미늄 합금 종류에 따라 다르지만 표준적으로는 강에 비해 5배 이상이나 비싸다. 반면, 강을 알루미늄으로 대체하는 과정에서 단순히 비강도로 비교 하면 약 50%의 경량화가 달성 된다. 가격 경쟁이 심한 자동차 산업에서, 부품 가격이 상승함에도 불구하고, 알루미늄 호일, 엔진블록, 인덱스머니 호일드 및 브레이크 캐리퍼 등에 적용하고 있는 것은 경량화가 절실히 필요하기 때문이다.

따라서 고품질의 주조제품을 생산하기 위해

* 발표자, 조선대학교
기계공학과(94510824@hanmail.net)
주소: 501-759 광주시 동구 서석동 375번지
+ 조선대학교 기계공학과
++ 동아인재대학 자동차공학과
+++ 송원대학 자동차공학과

서는 결합이 발생하는 원인에 대한 깊은 이해가 필요하며 이를 위해서는 주조공정에서 발생하는 물리적 현상에 대해 이론적 해석이 필요하다. 결합의 발생원인에 대한 이해를 통해 주조공정에서 발생하는 결합을 예측하고 주형설계를 변경하거나 기타 공정 변수를 제어하여 고품질의 제품을 생산할 수 있을 것으로 생각되며, 자동차 부품의 고품질화 및 정밀한 전자제품, 가전제품을 생산하는데 그 이용이 기대된다.

2. 초저속 주조법

초저속 주조법은 정도가 높고 기포가 없는 제품을 만드는 방법이고, 사출 플런저는 외부 플런저와 내부 플런저의 이중 플런저로 구성되어 있으며 금형의 열해석을 통하여 지향성 응고를 일으킬 수 있도록 금형온도를 조절하고 탕구속도를 종래의 20~60m/초에서 Al용탕의 층류한계인 1.5~1.6m/초 이하로 저속으로 주입한다.

충진 직후 내부 플런저를 전진시키고 응고 수축한 부분에 용탕을 보급함으로써 수축공을 없애는 효과를 주고 있다. 초저속 충전으로 만든 제품은 열처리가 가능하며 동일한 재료를 중력 주조한 제품보다 조직이 미세하고 굽힘강도, 경도 등이 우수하다.

다이캐스팅법과 초저속 다이캐스팅법의 차이점을 비교하면 게이트의 치수를 정하는 공식은 없으나, 일반적으로 제품의 가장 두꺼운 부분에 게이트를 설치하고, 용탕이 조용하게 금형의 내부에 충전 되도록 하고, 충전 완료 후에는 제품의 두꺼운 부분에 내부 플런저로 용탕을 보급한다. 또한 제품의 하부로 부터 순서대로 충진을 하고 캐비티 내부의 공기 및 가스를 빼도록 한다.

캐비티 충전 속도는 제품의 형상, 치수에 따라 다르며, 작은 부품에서 0.3초 큰 부품에서는 2.5초 정도이다. 이와 같이 사출시간은 다이캐스팅법 보다 길지만, 비스켓 부분에 기포가 포함되어 있고, 이것이 형개 후, 파열할 위험이없으므로 비스켓 부분이 60~70% 응고한 후에 형개 할 수 있다. 따라서 동일 중량이면 냉각시간은 다이캐스팅법 보다 단축되고, 사이클 전체로서는 다이캐스팅법과 비슷하다고 볼 수 있다.

주조압력은 350~1,000Kg/cm²로 다이캐스팅법에서 사용하고 있는 700~1,400Kg/cm²에 비하여 낮다. 저속이기 때문에 금형표면의 크랙 발생과 성장을 작게 하는 효과가 있다.

초저속 방법의 구조를 Fig. 1에서 나타냈으며 그 조작순

서는 플런저를 2개로 구분하여 먼저 제1플런저 전진, 고화개시, 제2플런저 전진, 형개시 전에 제 2플런저 후진 후 형개하여 제2플런저를 윤활제로 조작하게 된다.

초저속 방법은 열해석에 의한 지향성 응고에 의해서 가능해진다. 지향성 응고란 금형의 내부에서 비스켓으로부터 먼 선단부분으로 점진적으로 응고가 진행되도록 비스켓부에 주입하고, 기포의 발생을 방지하면서 응고시키는 것이다.

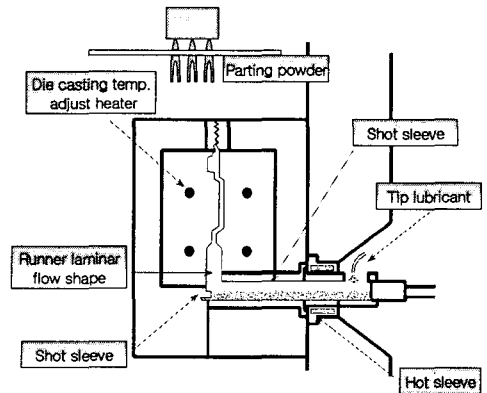


Fig. 1 Rotation direction of supper slow shot die casting

Fig. 2에서와 같이 초저속 주조방법에 의해 생산된 밸브바디 중간 플레이트 부품은 강도편차가 적고, 내열성이 향상되어 열처리가 가능하여 강도가 향상 된다.

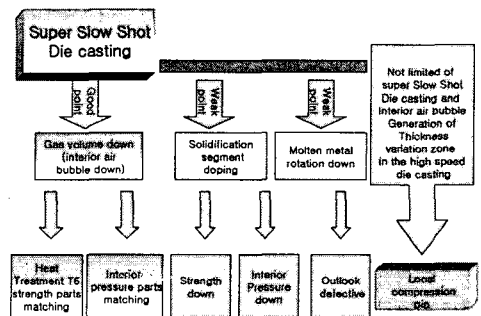


Fig. 2 Strong and defect point analysis of supper slow shot die casting

3. 실험

3.1 재질 및 실험

자동차 밸브바디 중간 플레이트 부품을 제작하기 위하여

사용된 재질은 AIDC(S)8.1 합금으로 기계적 성질 및 화학적 성분을 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of aluminium alloys for die-casting

Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation %	Coefficient of thermal expansion (°C)	Specific gravity (20°C)	Temperature conduction (25°C)
28.8	3	21	2.76	0.26
Melting area (°C)	Die-casting temp. (°C)	Solidification start temp. (°C)	Electric conduction (%)	
520~590	635~700	580	27	

Table 2 Chemical compositions of AIDC(S)8.1 alloy (wt. %)

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
1.5~3.5	9.6~12.0	0.3 less	1.0 less	0.9 less	0.5 less	0.5 less	0.3 less	balance

본 연구에서 적용하는 밸브바디 중간 플레이트 재질은 AIDC(S)8.1 합금으로 용점이 낮고 유동성, 주조성 및 기계 가공성의 특성이 우수하여 일반 다이캐스트 주조에 가장 많이 이용되는 합금이며, Al-10Si 합금은 과공정 합금으로 고강도, 내마모성 및 내열성이 우수하여 고강도 부품에 적용되고 있다.

다이캐스팅 기계는 350 톤 용량을 소화 할 수 있는 TOYO Ltd.의 것으로 실제 생산라인에서 사용하고 있는 시스템을 제품 사이클의 휴지시간을 이용하여 실험을 실시하였다. 압출력은 300 KN, 슬리브 스트로크는 425 mm이고, 저속 구간 거리는 288 mm이다. 또한 플런저 팁 직경은 표준 크기인 70 mm를 기준으로 하였을 경우 사출력은 87.2 MPa이다.

3.2 실험조건

본 해석에서는 전산해석을 위한 소재물성 데이터로서 밸브바디 중간 플레이트를 Z-CAST의 데이터 베이스에 내장되어 있는 AIDC(S)8.1 합금의 열적 물성치를 사용하였다. 대체소재를 공정합금으로 선택한 이유는 공정조성 합금의 경우 주조재로서 유동성이 좋으며, 응고중 등온변태에서 나타나는 현상으로 급랭으로 인해 조직이 미세화 되는 등의 특성을 가지고 있어 정량적인 해석이 아닌 전형적인 유동 및 응고패턴을 보여주는 정성적인 해석에 적절한 소재라고 판단하였다. 따라서 본 해석에서는 자동차 밸브바디의 정밀한 응고거동 보다 충전 및 응고시 결합생성 현상과 가압 공정시 가압의 영향 등을 위주로 평가하였다.

Fig. 3과 같이 주조전용 상용 소프트웨어인 Z-CAST의 전요소분할 과정, 시뮬레이션 과정, 후처리과정으로 크게 4단계로 구분된다. 전산해석을 위해 현재 양산중인 주조방안을 기준으로 DASOL LTD. CAD SYSTEM의 Solidworks 2004를 이용하였다.

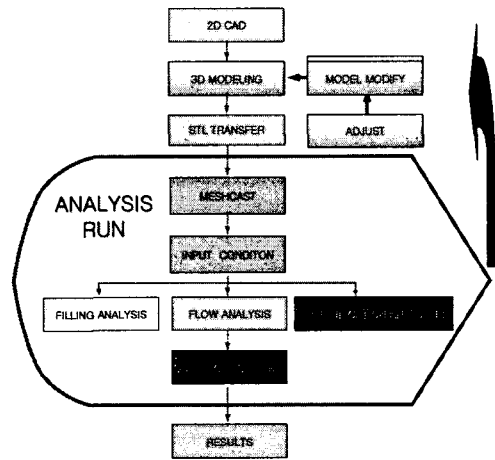


Fig. 3 Analysis processes of automobile valve body mid-plate

Fig. 4는 입구부 전의 비스킷부로 다이캐스팅 제어를 위한 주요 분이며, Table 3은 주조해석을 위한 입력 조건이다.

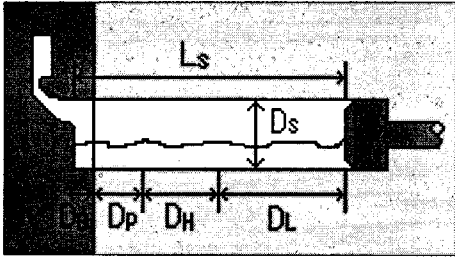


Fig. 4 Die-casting process conditions

Table 3 Factor of valve body analysis

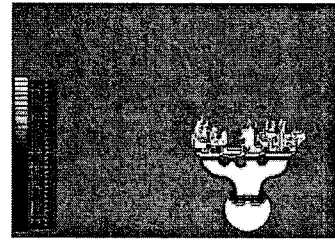
Factor	Positions	Units	Data
Sleeve stroke	LS	mm	422
Sleeve inner diameter	Ds	mm	70
Sleeve filling proportion		%	36
Slow interval distance	DI	mm	288
Slow injection speed	SL	m/s	0.1
High speed interval distance	Dh	mm	78
High injection speed	Sh	m/s	2.588
Basket interval distance	Dh	mm	10

4. 결과 및 고찰

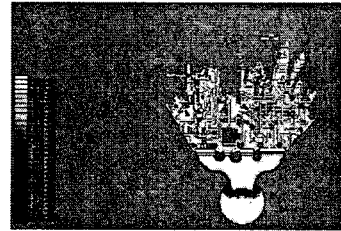
4.1 충전 해석 결과

Fig. 5(a), (b), (c)는 충전중에 충전거동을 해석한 그림으로 최적화된 다이캐스팅 조건을 설정하여 충전해석 결과로부터 용탕의 충전 거동들을 나타내었다. 2단 사출속도에 의해 게이팅부가 모두 채워지는 시점을 기준으로 저속사출에서 고속사출로의 전환이 시작된다. 즉, 최적 다이캐스팅 주조방안은 저속 사출 속도가 0.1 m/s이고 고속사출 속도가 2.588 m/s으로 사출 속도가 전환된다. 충전 완료시간 방안은 4초에 완료되었고, 충전 과정에서 두 방안이 모두 충전중의 용탕온도가 액상선(680℃)이하로 떨어지지 않는 양호한 충전거동을 나타내었다. 최적 다이캐스팅 주조방안에서 용탕의 비산(scattering flow)현상, 캐비티내에서의 용탕속도가 떨어지는 현상을 해결 하였다. 또한, 용탕의 유동성과 인게이트에서의 사출압력이 저하되어 용탕의 비산현상(scattering flow)을 보이는 것을 알 수 있다. 약 60% 충전시의 상부 오버플로우(overflow)부근에서의 용탕 흐름이 서로 만나는 부분, 즉 탕회불량(whirling flow)으로 인한 결함의 발생 가능성이 높은 부분이 발생하였다. 이는 인게이트의 각도로 인해 용탕이 제품의 외각을 우선적으로 충전함으로써 발생하는 것으로 보인다. 이 탕회불량은 인게이트의 외각

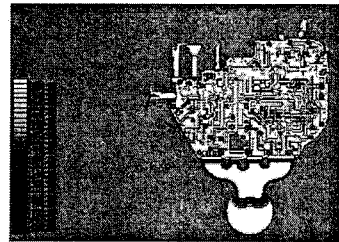
을 더 넓혀주거나 각도를 좀더 완만하게 보정해 주는 방법으로 용탕의 유동을 개선시킬 수 있다. 최적의 주조방안의 충전해석 결과를 통해서 용탕 유동에 있어서 오버플로우의 위치를 수정함으로써 속도, 온도 등이 균일하도록 유동을 개선할 수 있음을 알 수 있었다.



(e) 45%



(h) 60%



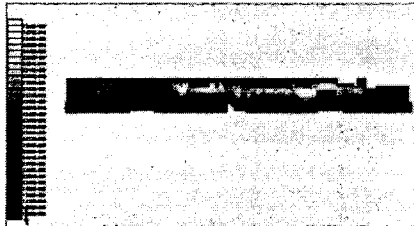
(m) 85%

Fig. 4.1 Filling analysis results

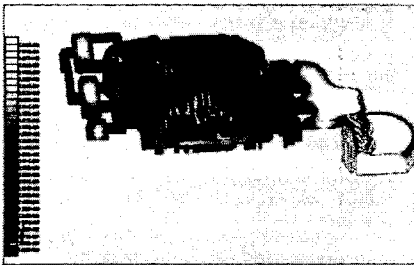
4.2 응고시간 해석

Fig. 6은 충전이 완료된 직후부터의 응고과정을 나타내며 치수가 얇은 외각부위에서 부터 응고가 진행되어 후육부인 제품 중심부가 최종적으로 응고되는 양상을 보여주며, 응고 개시 온도는 650℃에서 시작 되었다. 그림에서 알 수있듯이 cast 중심, 중간 지점 및 게이팅부를 집중 적으로 분석하였으며, 최종 응고부에서는 밸브바디 중간플레이트 중심에서 등온선이 페루프를

이루며 응고가 진행되는 것을 볼 수 있다. 이로부터 최종 응고시 제품중심의 후육부에서 수축결함이 발생할 가능성이 높은 것을 가시적으로 예측할 수 있다.



(a) Temperature in the cast



(b) Temperature in the mid-section



(c) Temperature in the ingate

Fig. 6 Temperature simulation results of the solidification time in the section point

4.3 유동 및 응고 열전대 분석

열전대 설정은 해당 부위의 온도변화를 확인하기 위한 것이다. 그래프에서 알 수 있듯이 유동, 응고, 반복의 열전대에 대한 정보를 확인할 수 있다.

Fig. 7에 나타난 것과 같이 지정된 위치는 충전과 동시에 650℃ ~ 680℃를 유지하고 있어 최종 충전시 까지 유동에 지장을 주지 않음을 알 수 있었다.

Fig. 8에서는 충전 과정에서 열의 안정상태로 유지됨을 알 수 있으며, Fig. 9에서는 0.12~0.14초에서 냉각에 의해서 급격히 하강하고 있음을 알 수 있다.

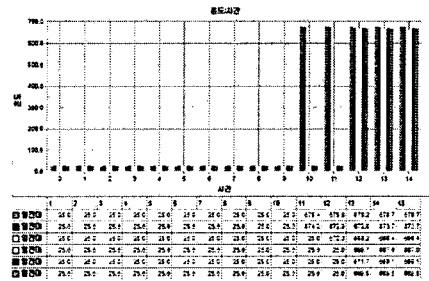


Fig. 7 Flow thermocouple of time

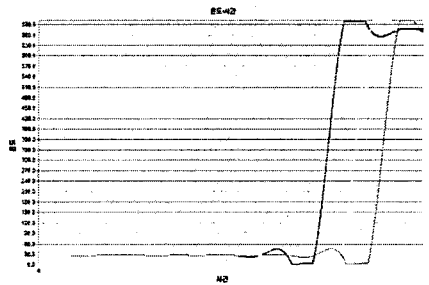


Fig. 8 Flow thermocouple

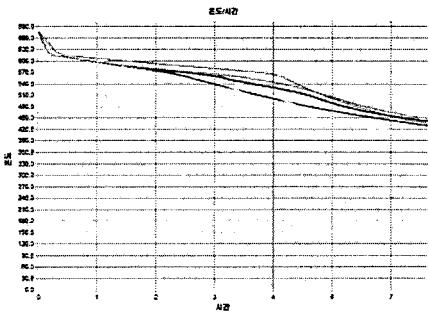


Fig. 9 Solidification transfer thermocouple

4.7 조직사진 관찰

Fig. 10은 조직사진 관찰을 위하여 다이캐스팅 시 결함이 예상되는 부위를 체크하여 밸브바디 중간플레이트 부품 내부의 건전성 평가 하였다.

Fig. 11에서는 밸브바디 중간 플레이트를 다이캐스팅 한 시험편의 결함에 예상되는 지점에 대하여 각 부위별 조직을

나타낸 조직사진이다. 또한, 매 시사출시 시편을 채취하여 조직사진을 관찰하고, 조직의 균일화 및 조직내의 기공 내재 여부를 점검 하였다. .

조직사진 관찰결과 개선된 미세조직을 관찰 할 수 있었으며, 조직상태가 균일하게 분포되었음을 알 수 있었다. 또한 인장시험결과 인장강도가 15%~25%이상 향상되었음을 알 수 있다.

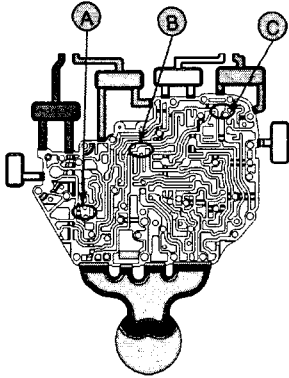
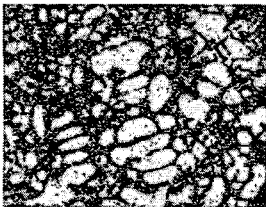
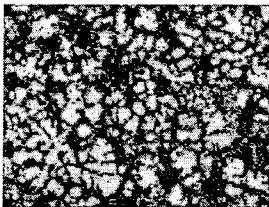


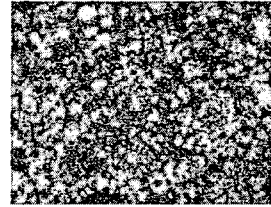
Fig. 10 The experiment position of upper sides structure photographs to the automobile mid-plate valve body parts



(a) point A (×500)



(b) point B (×500)



(c) point C (×500)

Fig. 11 Structure photographs in the last die-casting

5. 결론

초저속 신공정 주조방법을 이용하여 자동차 밸브바디 중간 플레이트 부품에대한 연구결과 충전이 완료되어 응고시 까지의 시간이 4초였으며, 응고 개시온도는 660℃ ~ 650℃에서 시작 되었으나 최대 압력 종료시에도 부품 중심부에 640℃ ~ 650℃의 온도가 존재 하였다. 또한, 금형의 열적 안정은 가상 열전대를 이용한 해석결과로부터 7사이클 이후에 안정상태로 되는 것으로 보아 금형의 예열이 필요하며, 본제품의예열온도는 250℃로 하는 것이 최적임을 알 수 있었다. 용탕의 온도가 680℃에서 최적의 유동 흐름을 보였으며, 650℃ 정도에서 응고되기 시작하여 580℃ ~ 550℃ 사이에서 급속도로 냉각되기 시작 하였다.

참고문헌

1. K. R. Brown, M. S. Venie, R. A. Woods, "The Increasing Use of Aluminum in Automotive Applications", JOM, Vol. 47, Issue 7, pp. 20~23, July 1995.
2. S. Okaniwa, "알루미늄 압출", 輕金屬, Vol. 45, No. 8, pp. 471~489, 1995.
3. O. Lohne, N. Ryum, "Simulation of Hot Tearing of Aluminum Alloys", Proceedings of the fourth Int'l aluminum extrusion technology seminar, Vol. 2, pp.303~308, 1988.
4. L. H. Kallien, M. Lipinski, "Optimization of die cast parts using numerical simulation of die filling and solidification", Transactions of the 17th International Die Casting Congress and Exposition, Ohio, USA, pp. 85, 1993.