

## 차량의 연료압력 레귤레이터 성형해석

박창선\*, 성백섭<sup>+</sup>, 김재열<sup>++</sup>

(논문접수일 2010. 12. 27, 심사완료일 2011. 3. 9)

### The Moulding Analysis of Fuel Pressure Regulator to the Vehicle

Chang Sun Park\*, Back Sub Sung<sup>+</sup>, Jae Yeol Kim<sup>++</sup>

#### Abstract

This study examined the casting analysis of fuel pressure regulator of LPI vehicles. We aims to predict all the phenomenon accompanied by flow and solidification in die casting, and maximize productivity and quality through optimal casting design. As a result of comparing Types A and B of casting design, it was found that the number of overflow affected flow, flowspeed and solidification temperature. And there was a minute difference between solidification temperatures at thick section of the spare parts. Solidification began at temperatures of 624°C ~ 630°C but after the casting was completed, temperatures at the center of the parts were 600°C ~ 614°C Temperature of molten metal showed optimal flow at temperature of 680°C It began to solidify around at 650°C and to be cooled between 580°C ~ 550°C in high speed. When the process was analysed through a computer simulation, it was found that hardness of regulators manufactured through Type B of overflow was above H<sub>R</sub>60.

**Key Words** : Die casting(다이캐스팅), Rregulator(레귤레이터), Flow speed(유동속도), Solidification temperature(응고온도), LPI(liquid petroleum injection)

### 1. 서론

초기에 선진국의 알루미늄 다이캐스팅 기술은 주조 조건에 따라 품질 차이가 크게 나타났다. 특히 기포 및 수축공에 의한 제품의 신뢰도가 낮기 때문에 케이스와 하우징과 같은 구조용 재료로만 사용되어 왔으나 최근 진공다이캐스팅, 산소분위기 다이캐스팅, 저속충진 및 고압 충진법을 개발하여 자동변속용 밸브, 몸체, LPG용 기화기, 분사펌프, 자동차 에어컨용 컴프레서, 실린더 블록과 같은 기밀성 및 내압이 요구되는 고급 기능 부품 소재까지 개발되고 있다<sup>(1)</sup>.

또한 열처리 및 용접까지 가능하며 기존의 주철 부품의 상당 수를 대체하여 경량화에 크게 이바지 하고 있다.

다이캐스팅 제품에서 수축공 및 가스기포 결함 제어를 위해서는 금형설계와 용탕의 탈가스가 필히 수행되어야 한다. 최근에는 금형설계를 위해 응고현상에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 수축공 및 기포결함 발생을 미리 예측하여 방지할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 주조 공정에서 용융금속이 주입구를 통하여 주형 공간에 주입되어 응고 되는 과정은 열적, 물리적으로 매우 복잡한 현상으로서 그 과정을 정확히 규명하고 제어하는 일은 매우 어려운 문제이다<sup>(2)</sup>.

\* 조선대학교 금속재료공학과

+ 교신저자, 조선대학교 친환경자동차인재양성센터 (sbsung@chosun.ac.kr)

주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동 375

++ 조선대학교 메카트로닉스공학과

Zasadxinski<sup>(3)</sup>은 A2017합금 등의 빌렛 온도와 압출속도의 관계를 파악하여 최대 압출속도의 공정 조건을 설계하였고, T. A. Jackson<sup>(4)</sup>은 고강도 A7계 합금에 대해 균질화 처리 조건에 따른 압출성 한계선도를 파악하여 우수한 압출성을 가지는 균질화 처리 조건을 제시하였다. 주조방안 설계의 많은 부분에 경험이 중요하다 할지라도 주형 충전과 열전달 해석을 통한 주조 과정에 대한 이해는 숙련된 기술자에게는 더 깊은 물리적 통찰력을 줄 수 있으며 비 숙련자에게는 설계의 기준을 제시해 준다<sup>(5~7)</sup>.

이러한 제시된 결과를 통하여 중요한 것은 제작하고자 하는 제품의 설계에서부터 제작까지의 시간을 단축하고 시작품을 제작하는 과정을 줄임으로써 생산비를 감소시킬 수 있다는 데 있다. 이에 본 논문에서는 제품의 품질에 많은 영향을 주는 다이캐스팅 생산조건 및 캐스팅 부품의 오버플로우의 영향에 대하여 실험하여 연구의 차별성을 주었다.

주조에 의해 제품을 제작하기 위해서는 숙련된 기술자에 의해 제품의 원형과 주형을 제작하고 경험에 의한 주조방안을 바탕으로 시작품을 제작하여 치수나 결함을 검사하여 주형 등을 수정하고 다시 시작품을 제작하는 과정을 통해 공정을 최적화하고 있다. 본 논문에서는 LPI 자동차 래굴레이터 고품질화된 성형제품 생산을 위하여 결함의 발생원인에 대한 이해를 통해 제조공정에서 발생하는 결함을 예측하고, 특히 오버플로우의 개소에 따라 제품의 성형에 관한 신뢰성을 증명하고자 하였다.

## 2. 초저속 다이캐스팅

사형이나 금형주조에서 주형내 가스 유입을 방지하는 원칙은 용탕의 흐름이 난류로 되지 않게 층류한계 내에서 주입 되도록 하여 용탕의 최선단에서 가스를 순차적으로 밀어내는 것이다. 이와 같은 개념으로 저속충진 다이캐스팅법이 개발되어 실용화되고 있다. 이러한 저속충진 다이캐스팅의 대표적인 것이 초저속 주조법이다.

Fig. 1~Fig. 2와 같이 충전 직후 내부 플런저를 전진시키고 응고 수축한 부분에 용탕을 보급함으로써 수축공을 없애는 효과를 주고 있다. 오버플로우와 가스벤트는 통상 한쌍으로 설계하며 탕류를 개선시키고 다이캐스팅의 최대 결함인 기포 결함을 최소화시키는 역할을 한다. 오버플로우는 슬리브, 캐비티 중의 공기 및 가스를 제거하고 캐비티 주변의 용탕압력을 조절하며, 캐비티 각부의 온도조절 및 냉각되면서 오염된 초기 용탕을 저장하는 등의 역할을 한다. 가스벤트는 캐비티내의 가스를 빼내어 기포에 의한 제품 결함을 방지하는 역할이 그 목적이다. 따라서 오버플로우의 위치는 용탕의 흐름이 어려운 곳 또는 용탕이 만나는 점과 금형온도가 낮은 곳에 붙인다. 가스벤트는 캐비티로의 용탕흐름이 최종 충전되는 곳에 붙이며, 기공이 나 타내기 쉽고 압입된 용탕이 직접 닿지 않는 위치에 붙이는 것이

일반적이다.

Fig. 3의 압력 곡선은 주조시의 경과시간으로 플런저가 움직이기 시작하여 충전 개시까지의 시간과 캐비티를 용탕이 충전하는데 요하는 시간, 그때에 플런저에 걸리는 압력 및 플런저

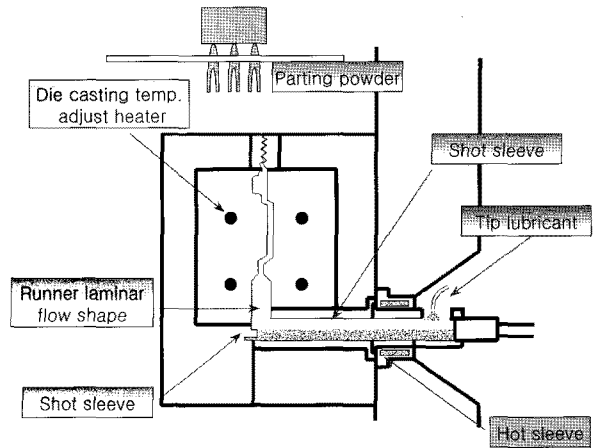
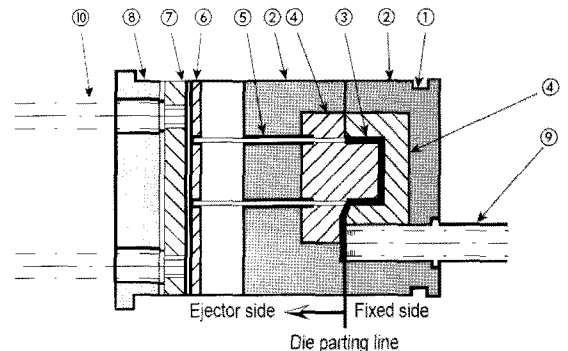


Fig. 1 Process of die-casting



① Securing slot	② Bolsters
③ Impression cavity	④ Impression inserts
⑤ Ejector pins	⑥ Retaining plate
⑦ Ejector plate	⑧ Back block
⑨ Shot sleeve	⑩ Ejector operator pins

Fig. 2 Example of die for cold chamber machine

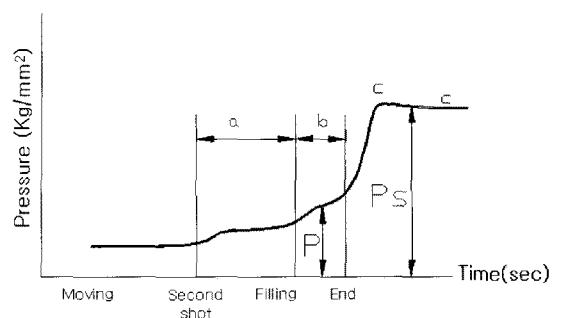


Fig. 3 Pressure profile in die-casting

속도 및 충전 후의 최대 압력을 알 수 있다. 그림에서와 같이 b 구간에서 충진이 시작되어 완료되는 시점이며, c 구간은 최대 압력으로 가압을 하는 구간이다.

### 3. 실험

#### 3.1 재료 및 LPI 연료시스템

LPI 차량의 연료압력 레귤레이터 부품을 제작하기 위하여 사용된 재료는 A1DC(S)8.1 합금으로 기계적 성질 및 화학적 성분을 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

다이캐스팅 기계는 350 톤 용량을 소화 할 수 있는 TOYO Ltd.의 것으로 실제 생산라인에서 사용하고 있는 시스템을 제품 사이클의 휴지시간을 이용하여 예비실험을 실시하였다. Table 3은 사출관계에 대한 장치의 사양을 나타낸 것이고, 압출력은 300KN, 슬리브 스트로크는 425mm이고, 저속 구간 거리는 288mm이다. 또한 플런저 팁 직경은 표준크기인 70mm를 기준으로 하였을 경우 사출력은 87.2MPa이다.

LPI 연료시스템은 LPG 액상 연료분사 방식의 연료탱크의 압력에 의존한 기계식 LPG 연료 방식과는 달리 연료탱크 내에 연료펌프를 설치하여, 연료펌프에 의해 고압(5~15bar)으로 송출되는 액상 연료를 인젝터로 분사하여 엔진을 구동하는 구조로 되어 있다. Fig. 4에서와 같이 액상의 연료를 분사함으로써, 믹서 형식의 LPG 엔진의 구성품인 베이퍼라이저, 믹서 등의 구성 부품은 필요 없게 되었으며, 새롭게 적용되는 구성품은 고압인젝터, 보배내장형 연료펌프, 특수재료의 연료공급파이프, LPI 전용 ECU, 연료 압력을 조절해주는 레귤레이터 등이 적용되었다. 연료 탱크에서 송출된 고압의 연료를 다이어프램과 스프링의 균형을 이용하여, 연료 통로내의 압력을 항상 5bar로 유지시키는 역할을 한다. 또한 연료 압력 레귤레이터 외에

연료 분사량을 보상하기 위한 가스 압력 측정 센서(GPS), 가스 온도 측정(GTS) 및 연료 차단 솔레노이드 밸브를 내장하고 있어 연료라인의 연료공급 및 차단을 제어하는 기능을 한다.

#### 3.2주조방안

Fig. 5에서와 같이 오버플로우는 가스의 혼입이 많은 용탕에 설치하고, 금형의 온도분포를 균일하게 하며 에어 벤트로 용탕이 밀려가지 않게 방지하고, 용탕이 충전 중에 압력이 낮게 유지하는 역할을 충분히 할 수 있도록 설계 하였다. 또한 소수의 큰 것 보다는 다수의 작은 오버플로우를 흐름과 같은 방향으로 좁게 설치하여 용탕이 입구로 역류하여 후속용탕의 충진이 방해되지 않도록 하였다.

본 해석에서는 전산해석을 위한 소재물성 데이터로서 레귤레이터를 Z-CAST의 데이터베이스에 내장되어 있는 A1DC(S)8.1 합금의 열적 물성치를 사용하였다. 대체소재를 공정합금으로 선택한 이유는 공정조성 합금의 경우 주조재로서 유동성이 좋으며, 응고 중 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 레귤레이터의 충전 및 응고시 결함생성 현상과 가압 공정시 가압의 영향 등을 위주로 평가하였다. 또한, 모델링 파일을 STL 파일로 전

Table 1 Mechanical properties of aluminium alloys for die-casting

Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	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 A1DC(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

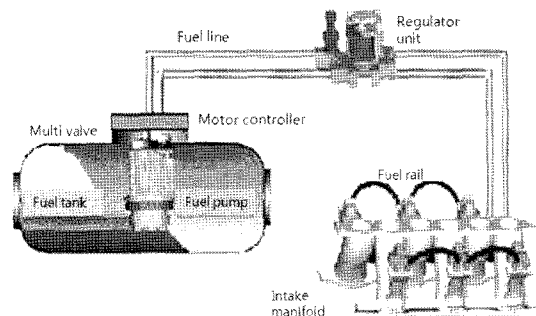


Fig. 4 LPI(liquid petroleum injection) system

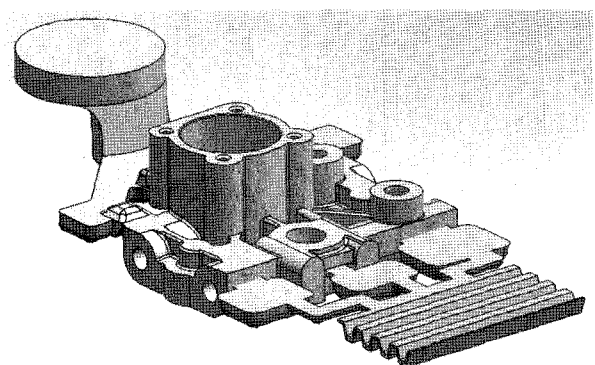


Fig. 5 Isometric of LPI regulator modeling

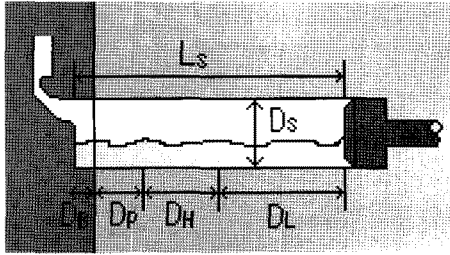


Fig. 6 Die-casting process conditions

Table 3 Factor of valve body analysis

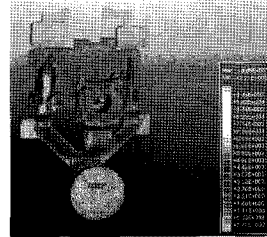
Factor	Positions	Units	Data
Sleeve stroke	LS	mm	410
Sleeve inner diameter	Ds	mm	70
Sleeve filling proportion	-	%	35
Slow interval distance	DL	mm	288
Slow injection speed	Ss	m/s	0.25
High speed interval distance	DH	mm	78
High injection speed	HS	m/s	2.5
Basket interval distance	DP	mm	34

환하여 Z-CAST로 불러들인 주형 및 게이트부를 메쉬를 하였다. Fig. 6은 입구부 전의 비스킷부로 다이캐스팅 제어를 위한 주요 부분이며, Table 3은 주조해석을 위한 입력 조건이며, 총 중량은 약 0.94kg 이다.

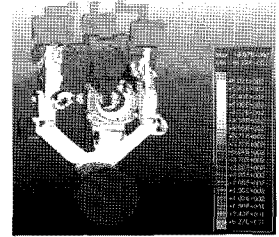
#### 4. 결과 및고찰

##### 4.1 충전해석

Fig. 7~Fig. 10은 충전중에 충전거동을 해석한 그림으로 최적화된 다이캐스팅 조건을 설정하여 충전해석 결과로부터 용탕의 충전 거동물을 나타내었다. 2단 사출속도에 의해 게이팅부가 모두 채워지는 시점을 기준으로 저속사출에서 고속사출로의 전환이 시작된다. 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. 그림에서와 같이 약 40% 충전시의 상부 오버플로우(overflow)부근에서의 용탕흐름이 서로 만나는 부분, 즉 탕회불량(whirling flow)으로 인한 결함의 발생 가능성이 높은 부분이 발생하였다. 이 탕회불량은 인게이트의 외각을 더 넓혀주거나 각도를 좀더 완만하게 보정해 주는 방법으로 용탕의 유동을 개선 하였으며, 최적의 주조방안의 충전해석 결과를 통해서 용탕 유동에 있어서 오버플로우의 위치를 수정함으로써 속도, 온도 등이 균일하도록 유동을 개선할 수 있음을 알 수 있었다.

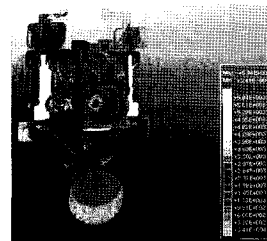


(a) A-Type

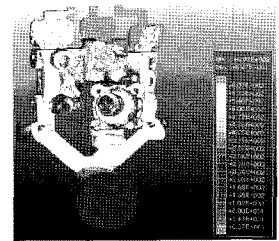


(b) B-Type

Fig. 7 Filling analysis results in the process 40%

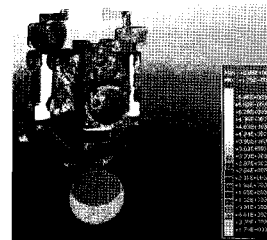


(a) A-Type

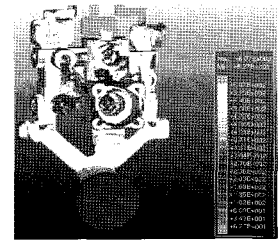


(b) B-Type

Fig. 8 Filling analysis results in the process 60%

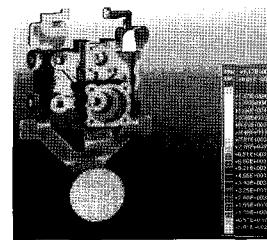


(a) A-Type

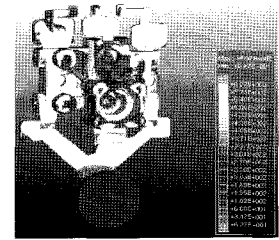


(b) B-Type

Fig. 9 Filling analysis results in the process 80%



(a) A-Type



(b) B-Type

Fig. 10 Filling analysis results in the process 100%

용탕이 캐비티내로 유입된 직후부터의 충전거동을 비교하기 위해 A-Type과 B-Type의 성형제품과 충전해석에 의해 충전율이 60%, 80%, 90%일 때의 유동과정이 다소 차이가 나타났으며, A-Type보다 B-Type에서 양호한 흐름을 관찰할 수 있었다.

##### 4.2 유동속도벡터

유동해석이 진행되는 중이거나, 해석이 완료된 뒤에도 충전 상태, 충전 온도분포, 충전 방향을 확인하여 제품의 결함을 찾아낼 수 있다.

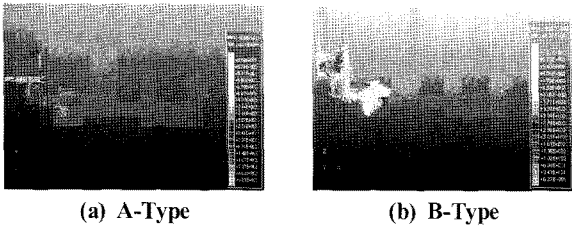


Fig. 11 Flow velocity vector in the process 40%

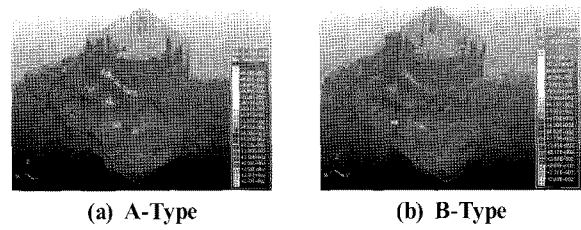


Fig. 15 Solidification temperature distribution of 450°C

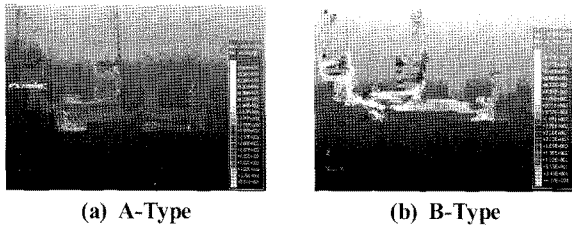


Fig. 12 Flow velocity vector in the process 60%

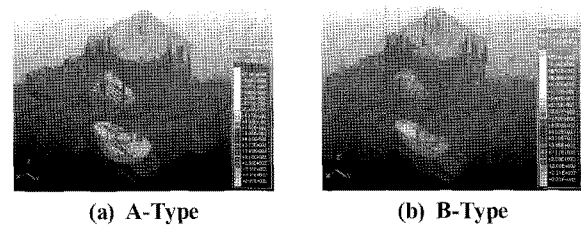


Fig. 16 Solidification temperature distribution of 500°C

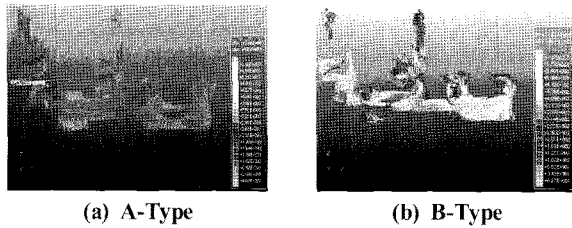


Fig. 13 Flow velocity vector in the process 80%

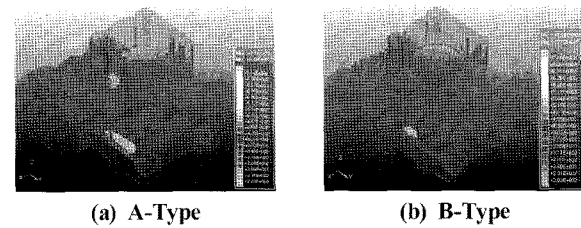


Fig. 17 Solidification temperature distribution of 530°C

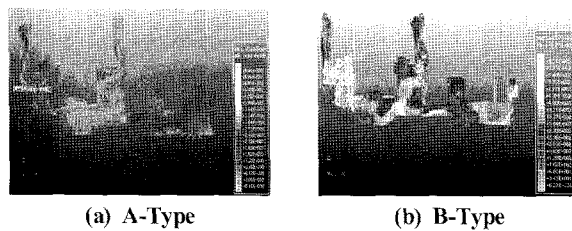


Fig. 14 Flow velocity vector in the process 100%

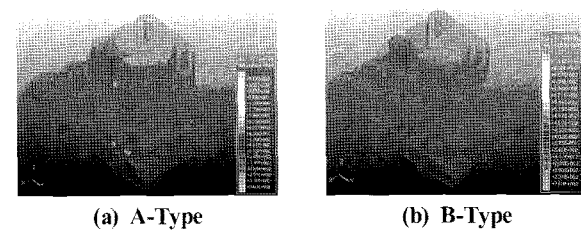


Fig. 18 Solidification temperature distribution of 550°C

Fig. 11 ~ Fig. 14는 레귤레이터의 유동해석 진행과정을 속도벡터로 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 약간의 뱀돌이 현상이 발생하였으나 속도벡터 결과 전반적으로 안정된 충전 양상을 확인할 수 있었다. A-Type과 B-Type의 속도벡터 비교 분석 결과 A-Type과 B-Type에서 큰차이는 없었으나 진행률이 80%에 이르렀을 때 B-Type에서 A-Type보다 유동 흐름의 건전성을 확인할 수 있었다. 이러한 원인은 오버플로우의 개수의 증가로 두꺼운 부분을 고르게 충전하는 역할을 하기 때문인 것으로 관찰 되었다. 따라서 이러한 해석 결과를 바탕으로 오버플로우의 개수 변화를 통하여 건전한 제품의 양산이 가능함을 관찰할 수 있었다.

### 4.3 응고온도 분포

다이캐스팅 알루미늄 용융상태에서 응고가 완료된 후 온도분

포를 비교 분석하였다. Fig. 15 ~ Fig. 18에서와 같이 최대온도가 약 450°C를 비교 분석한 결과 B-Type의 형상에서 약간 빨리 응고가 되었음을 그림에서 알 수 있었다. 그림에서와 같이 다이캐스팅 제품에서 열이 금형으로 빠져 나오지 못하고 부품 내부에 내재 되어 있었다. Fig. 4.13에서 알 수 있듯이 부품이 두꺼운 가운데 부분에서 열이 빠져 나오지 못하는 현상을 볼 수 있었으나 최종 구조방안에서 이러한 문제점을 최소화되었음을 관찰할 수 있었다. Fig. 4.16에서와 같이 A-Type에서는 같은 온도가 잔류하였으나 B-Type에서는 사라졌음을 관찰 할 수 있었다.

### 4.4 경도시험

Fig. 19에서 표시된 A, B, C, D 및 E 부위에서 시험편을 채취하여 브리넬 경도시험을 행하였으며, 그 결과를 Table 4에

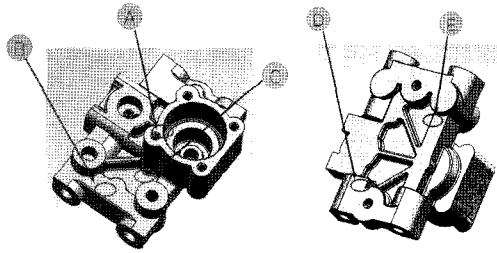


Fig. 19 Test position for the HB hardness

Table 4 Hardness test results (HR)

Type	A type					B type				
	Test zone position					Test zone position				
No.	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	59	57	58	59	58	64	63	60	60	60
2	57	59	60	57	56	63	65	62	60	61
3	60	58	57	58	57	62	64	61	61	60
4	59	58	56	57	59	65	66	64	63	61
5	56	61	58	56	56	64	65	63	60	63
Av.	58.2	58.6	57.8	57.4	57.2	63.6	64.6	62.0	60.8	61.0

나타내었다. 경도시험은 로크웰 경도계를 사용하였으며, 볼 크기는 5mm, 하중은 100Kg으로 하였다. 유형별로 경도시험 비교분석결과 오버플로우 최적형상 조건을 설정한 B-type에서 경도값이 HR60이상으로 측정 되었다.

컴퓨터 시뮬레이션에 의한 해석의 수정과 반복 해석에 의한 최적의 주조 조건을 구하였으며, 최종 주조조건의 제품의 경도값이 높게 측정되었음을 정확히 알 수 있었다. 이것은 주조과정에서 발생하는 시행착오에 의해 발생 되는 비용, 시간 및 운영상 측면에서 현저하게 줄일 수 있으며, 신뢰성을 확보 할 수 있었다.

### 5. 결론

다이캐스팅 주조과정에서의 유동 및 응고 과정에 따르는 제 현상들을 예측하고, 주조설계에 있어서 최적화를 통하여 생산성 및 품질의 극대화를 얻고자 LPI 차량의 연료압력 레귤레이터의 성형해석을 실시하였다. 그 결과 부품의 경량화 및 고품질 제품을 생산하기 위하여 시험모델을 대상으로 품질에 관여하는 영향인자들에 대하여 조사를 하였으며, 그 결과 게이트부,

주조 속도 및 캐스팅 압력이 매우 중요하며, 요인 중 오버플로우가 기공, 용탕 유동 및 응고에 영향을 주었다. 실험결과 용탕의 온도가 680℃에서 최적의 유동 흐름을 보였으며, 650℃ 정도에서 응고되기 시작하여 580℃~550℃ 사이에서 급속도로 냉각되기 시작 하였다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션 해석 결과 오버플로우의 최적 형상인 조건에서 제작된 레귤레이터 부품의 경도 시험 결과 HR60 이상으로 측정 되어 양호한 상태를 보였다.

### 후기

본 결과물은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구 결과입니다.

### 참고 문헌

- (1) Kim, E. S., Lee, K. H., and Moon, Y. H., 2000, "A Feasibility Study of the Partial Squeeze and Vacuum Die Casting Process," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 105, pp. 42.
- (2) E-Mahallawy, N. A., Taha, M. A., Pokora, E., and Klein, F., 1998, "On the Influence of Process Variables on the Thermal Conditions and Properties of High Pressure Die-Cast Magnesium Alloys," *J. of Mat. Science and Tech.*, Vol. 73, pp. 125.
- (3) Zasadzinski, J., and misiolek, W., 1988, "Estimating Optimal Speed/Temperature Parameters to Maximize Hot Extrusion Exit Speed," *Preceeding of the fourth Int'l aluminum extrusion technology seminar*, Vol. 2, pp. 241-246.
- (4) Jackson, A., and Sheppard, T., 1997, "Extrusion Limit Diagrams: Effect of Homogenising Conditions and Extension to Productivity Analysis," *Materials science and technology*, Vol. 13, pp. 61-68.
- (5) Weishan, Z., Shoumei, X., and Baicheng, Liu., 1997, "Study on a CAD/ CAE System of Die Casting," *J. of Mat. Science and Tech.*, Vol. 63, pp. 707.
- (6) Sulaiman, S., and Keen, T. C., 1997, "Flow Analysis along the Runner and Gating System of a Casting Process," *J. of Mat. Science and Tech.*, Vol. 63, pp. 690.
- (7) Lee, J. S., and Cho, D. H., 1999, "Thermal Analysis of Continuous Casting Mold," *J. of the korean society of machine tool engineers*, Vol. 8, pp. 43-49.