

## 반용융 다이캐스팅 공정에 있어서 속도제어방법이 제품의 특성에 미치는 영향

서판기\* · 강충길<sup>†</sup> · 손영익\*  
(2002년 1월 21일 접수, 2002년 7월 26일 심사완료)

### The Effect of Velocity Control Method on the Part Characteristic in Semi-Solid Die Casting

Panki Seo, Chunggil Kang and Youngik Son

**Key Words:** Semi-Solid Die Casting(반용융 다이캐스팅), Velocity Control Method(속도제어방법), Mechanical Property(기계적 성질)

#### Abstract

The process design to produce a near net shape home-appliance compressor component using semi-solid die casting process is performed. In order to obtain a good component without defects such as liquid segregation and porosity, the relationship between pressure and time, and plunger tip displacement and injection velocity are proposed with repeated trial and error. The effect of the velocity variation in the process parameters on liquid segregation and extraction is investigated to produce the aluminum frame part(a kind of compressor part) with good mechanical properties. The mechanical characteristic of semi-solid die casting formed parts for AlSi7Mg0.6Sr(A357) and AlSi17Cu4Mg(A390) are investigated with a view to minimizing the occurrence of defects. To investigate of application possibility at industry field, A380 aluminum alloy with 8~9% silicon contents used for the squeeze casting process. The obtained mechanical properties is compared with semi-solid die casting.

#### 1. 서론

가전제품에 사용되는 압축기의 경우 사용대수의 증가와 대용량화에 따라 소비전력이 증가되고 있으며, 환경규제에 의해 대체냉매의 필요성이 증가됨에 따라 압축기의 습동부품에 대한 경량화/내마멸/고윤활성이 요구되고 있다. 현재, 압축기 부품을 알루미늄 재료로 대체하기 위하여 스퀴즈

캐스팅(Squeeze casting)공정이 일부 적용되고 있으나, 불량률 저감에 어려움을 겪고 있다.

반용융 다이캐스팅(Semi-solid die casting)법은 복잡한 형상을 가진 부품을 생산하고자 할 때, 구상화 조직을 가진 반용융 소재를 금형에 완전히 충전시키는 것이 가능하다. 이 때, 충전하는 동안 고상과 액상이 공존하기 때문에 순수 액상만 존재하는 경우에 비해서 응고시간이 감소하므로 내부기공을 획기적으로 개선할 수 있다. 또한, 반용융 성형온도에서 점성이 액체상태보다 더 높으므로 충전시 유동형태가 난류로 발달하지 않기 때문에 충전시 용탕의 흐름에 기인하는 유동불량이 적어지는 등 여러 가지 장점들을 가지고 있다.

Yosida 등<sup>(1)</sup>은 Al-4.5%Cu 합금으로 단조를 행하여 유동현상과 미세조직을 관찰하였다. Martin

---

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부,  
정밀정형 및 금형가공연구소  
E-mail : cgkang@pusan.ac.kr  
TEL : (051)510-2335 FAX : (051)512-1722  
\* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

등<sup>(2)</sup>과 *Seconde* 등<sup>(3)</sup>은 수지 상정 조직과 구상화 조직을 가진 반용융 재료의 거동은 매우 다르며, 수지 상정 조직의 유동 응력은 구상화 조직보다 크다는 사실을 발표하였다. *Kumar* 등<sup>(4)</sup>은 Al-7%Si- 0.6%Mg 반용융 재료에 대하여 유동거동을 예측하였고, *Tietmann* 등<sup>(5)</sup>은 알루미늄합금을 반용융성형에 의하여 단순한 형상과 복잡한 형상의 제품을 제조할 때 정수압응력이 증가할수록 기계적 성질이 우수한 제품을 제조할 수 있다고 보고하고 있다.

*Kitamura* 등<sup>(6)</sup>은 A356 알루미늄 재료를 이용하여 반용융 다이캐스팅 공정으로 커넥팅로드 부품을 개발하였다. 다이캐스팅 제품의 기계적 성질과 비교한 결과 인장응력과 항복응력 등이 우수하며 편석과 금형의 열피로가 감소함은 물론 고상물이 증가할수록 펀치속도를 증가시키면 표면 조도가 개선된 제품을 얻을 수 있다고 보고하고 있다.

*Vinarcik* 등<sup>(7)</sup>은 반용융 공정을 통하여 자동차 연료장치 시스템을 설계·제작하여 가공성에 미치는 영향을 파악하였다. *Idegomori* 등<sup>(8)</sup>은 T6 열처리한 86S를 소재로 자동차 공기조절 장치를 개발하였는데 내열성이 뛰어나고 스크롤(scroll)의 모든 기계적 성질을 만족한다고 보고하였다.

*Midson* 등<sup>(9)</sup>은 A357을 소재를 이용하여 게이트의 형상변화에 대하여 평판을 성형하였다. 게이트의 위치와 크기(두께×폭)제어가 중요하며 가장 폭이 넓고 두꺼운 게이트에서 우수한 충전 현상을 나타낸다는 사실을 발표하였다. *Kang* 등<sup>(10)</sup>은 반용융 단조공정에 있어서 금형의 온도와 게이트의 형상에 따른 충전거동을 연구하였으며, 그에 따른 기계적 성질을 평가하였다. *Eisen* 등<sup>(11)</sup>은 캐스팅 성형 후 응고과정 동안 고상률 55-65%의 고품성 반용융 소재는 높은 사출력뿐만 아니라 높은 가압력을 요구한다고 보고하였다.

지금까지 발표된 연구들은 반용융 재료의 유동 현상과 미세조직의 정도가 기계적 성질에 미치는 영향을 파악한 것이 대부분이다. 내마모계 가진 용 압축기 부품 성형에 있어서 반용융 다이캐스팅을 이용하여 소재를 알루미늄 합금으로 대체하는데 필요한 금형설계 및 성형조건 등에 관한 연구결과는 발표되지 않고 있다.

반용융 다이캐스팅 공정을 이용하여 제품을 개발하는데 있어서 중요한 요소는 소재의 재가열

방법, 기계의 사양, 사출조건 결정 및 금형 구조 등이다. 수직형 유도가열의 경우는 공정온도 전후에서 고상률이 급격히 변화하기 때문에 온도를 올리기 위해 필요이상의 열량을 주게되면 액상의 유출, 자중에 의한 좌굴(Elephant foot effect) 및 전자기 끝단 효과(Electro-magnetic end effect)가 발생한다. 수평형 유도 코일에서는 자중에 의한 좌굴 현상은 거의 나타나지 않고 액상의 유출 현상은 현저하게 감소함을 관찰할 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 전자교반법에 의해 제조된 A357, A390과 같은 소재를 이용하여 반용융 다이캐스팅 공정에 필요한 최적의 재가열 조건을 도출하기 위해 수평형 유도 코일을 설계·제작하였다.

반용융 다이캐스팅 공정에 의하여 부품을 개발하는데 필요한 스트로크, 속도 및 압력사이의 관계를 제안하여 부품 개발에 응용하도록 하였다. 또한 소재와 금형온도, 속도와 가압력의 변화에 따른 기계적 성질을 파악하였다. 기존 회주철 소재의 압축기 부품을 알루미늄 소재로 대체하기 위하여 반용융 다이캐스팅과 스퀴즈 캐스팅 공정으로 제조한 부품의 기계적 성질을 조사하였다. 또한 본 연구에서 제안한 반용융 다이캐스팅에 관한 성형조건을 각종 자동차 부품개발에 응용할 수 있도록 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 수평형 유도가열장치

반용융 다이캐스팅을 위해서는 빌렛을 반용융 상태로 가열해야 한다. 전자기 유도 가열은 짧은 시간 동안에 빌렛의 온도를 정확히 제어할 수는 있지만 재가열된 빌렛에 온도편차가 발생할 수 있다. 빌렛의 온도가 균일하지 못하면 고상률이 다르게 되어 온도가 낮은 부분은 충분한 유동성을 갖기 힘들고, 온도가 높은 부분은 액상이 고상으로부터 유출되어 밖으로 흘러내리므로 취급이 곤란하다.

또한, 반용융 소재의 종류와 크기에 따라서 재가열 조건이 다르기 때문에 소재가 설정온도에서 적절한 구상화 조직을 가지도록 재가열하는 기술이 중요하다.

본 실험에서 사용된 반용융 소재는 일반적으로 자동차 부품 개발에 많이 사용되는 주조용으로

Table 1 Chemical compositions of ALTHIX billet<sup>(12)</sup>(wt %)

		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti	Pb	Sn
A357	Min(%)	6.5	-	-	-	0.50	-	-	-	-	-
	Max(%)	7.5	0.15	0.03	0.03	0.60	0.03	0.05	0.20	0.03	-
A390	Min(%)	16.0	-	4.0	-	0.5	-	-	-	-	-
	Max(%)	17.0	0.4	5.0	0.1	0.65	0.01	0.05	0.20	0.03	-
A380		9.0	0.81	3.5	0.17	0.25	0.07	1.41	-	-	0.03

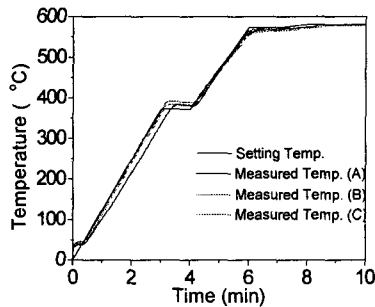


Fig. 1 Temperature profile during reheating A357

프랑스 페시니(Pechiney)사에서 전자기 교반으로 제조되어진 A357과 A390을 이용하였다. 소재의 화학적 성분은 Table 1에 나타내었다.

수직형 유도가열 시스템의 경우 액상 유출, 자중에 의한 좌굴, 전자기 끝단 효과 등이 발생하였다. 수평형 유도가열 장치에서는 자중에 의한 좌굴현상이 거의 나타나지 않았고 액상의 유출현상이 현저하게 감소함을 관찰하였다. 따라서 수직형 유도가열 시스템의 단점을 보완하고, 재가열의 시간단축 및 균일한 온도분포를 얻을 수 있는 수평형 유도가열 시스템을 설계, 제작하였다. 자체 제작한 수평형 유도가열 시스템으로 재가열 실험을 하였으며, Fig. 1에 나타낸 바와 같이 3단 재가열 조건을 확립하였다.

알루미늄 소재의 재가열을 목적으로 한 다단 고주파 유도 가열장치로서 최대가열 알루미늄 소재의 규격은 127mm  $\phi$  × 300mmh, 76mm  $\phi$  × 150mmh이고 용량은 50kW, 주파수는 350Hz이다. 이 시스템은 시간-출력, 시간-온도를 단계별 개별 동작 및 제어가 가능하다. 시간, 출력, 온도에 대한 제어결과를 실시간으로 받아서 연구·분석자료로의 활용을 위해 소재 가열을 위한 고주파 전원 장치, 연속적인 소재 공급을 위한 다단가열 Index 장치로 구성되어 있다. 이러한 장치는 컴퓨터에 의해 자동제어 되고 있다.

다단 고주파 유도로 장치의 구조화화면에서는

제어를 위해 입력한 3단 재가열 설정값을 그래프로 나타내고 가열기동시 생성된 출력결과를 실시간으로 화면에 표시해준다. 사용 중인 온도센서는 제어관벨의 K-type 열전대와 pyrometer의 절환 소프트웨어에서 선택된 온도센서가 설정된다.

제어번호 설정부는 제어패턴 번호를 변경하면 제어번호에 종속된 모든 자료들이 자동 저장되며 선택 가능한 모드는 출력과 온도모드이다. 제어값을 설정하기 위한 입력부에서는 설정값이 '0'이 되면 end-data로 인식하게 된다. P·I·D 제어는 전압출력을 위한 범위설정부인 Gain값을 조절함으로써 가능하며 최종 결과 데이터는 ASCII 코드로 변경할 수 있다.

## 2.2 재가열 실험

수평형 유도가열장치에서는 빌렛의 재가열시간을 3단 10분에서 원하는 공정조작을 얻을 수 있었다. 재가열은 빌렛을 반응용상태로 가열하는 것이 목적이지만 재가열 과정동안 빌렛의 미세조직이 제어되기 때문에 전자기식 교반에 의해 제조된 페시니 재료를 수평형 고주파 유도가열장치에서 실험을 수행하였다.

재가열시 빌렛 각 부분의 균일한 온도분포를 확인하기 위해서 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 대기 및 접하고 있는 빌렛의 표면부(A), 중심부(B), 단열재와 접하고 있는 하단부(C)에 열전대를 삽입하여 온도를 측정하였다. (B) 지점의 온도를 제어값으로 설정하여 소재의 온도를 제어하였다. 특히 빌렛의 표면부(A)와 단열재와 접하고 있는 하단부(C)에서의 온도편차가 크므로 최종 가열시간과 최종 유지시간을 변수로 두 지점의 온도편차를 줄여나가면서 실험을 수행하였다.

Table 2는 각각의 소재에 대해 반응용 성형을 위한 재가열 조건을 나타낸 것이다. 알루미늄 프레임(Frame) 성형을 위해서 소재는 76mm  $\phi$  × 75mmh로 가공하여 실험을 수행하였는데, 재가열 시간을 10분으로 줄일 수 있었다.

Table 2 Reheating conditions

	Reheating Time $t_a$ (min)			Holding Time $t_h$ (min)			Holding Temperature $T_h$ (°C)			Total Time (min)	Measured Temp. (°C)
	$t_{a\_1}$	$t_{a\_2}$	$t_{a\_3}$	$t_{h\_1}$	$t_{h\_2}$	$t_{h\_3}$	$T_{h\_1}$	$T_{h\_2}$	$T_{h\_3}$		
A357	3	2	1	1	1	2	380	578	585	10	581
A390	3	2	1	1	1	2	460	564	574	10	570

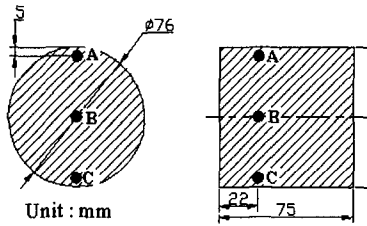


Fig. 2 Location of billet to measure the temperature distribution during reheating

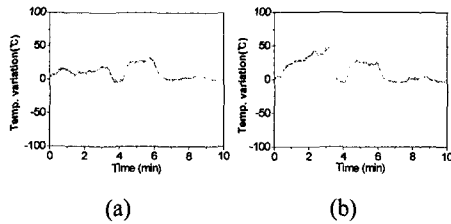


Fig. 3 Temperature variation during reheating A357

- (a) between locations A and B  
(b) between locations B and C

### 2.3 재가열시 단면 전체의 온도분포

최종 재가열시 빌렛 각 부분의 균일한 온도분포를 확인하기 위해서 대기와 접하고 있는 빌렛의 표면부(A)와 단열재와 접하고 있는 하단부(C)에서의 온도편차가 크므로 최종 가열시간과 최종 유지시간을 변수로 두 지점의 온도편차를 줄여나 가면서 최종 단계에서의 각 위치별 온도편차를  $\pm 1^\circ\text{C}$  이내가 되게 실험을 수행하였다.

Fig. 1은 Table 2의 조건으로 재가열할 때 A357의 온도상승곡선을 나타내고 있다. 전체 가열시간이 10분으로 설정된 3단 가열조건을 잘 만족하고 있다.

Fig. 3의 (a), (b)는 각각 A357의 대기와 접하고 있는 표면부(A)와 중심부(B), 단열재와 접하고 있는 하단부(C)의 온도차이를 표시한 것이다. A357

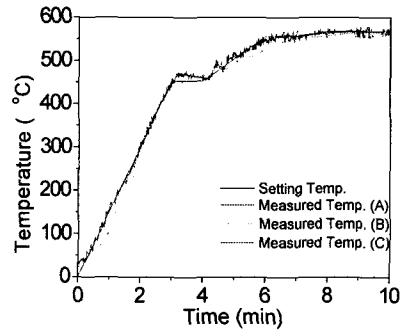


Fig. 4 Temperature profile during reheating A390

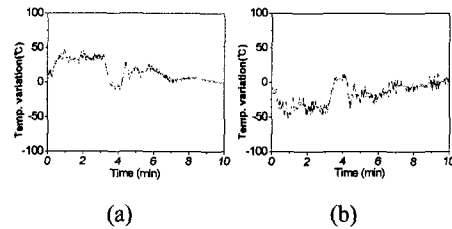


Fig. 5 Temperature variation during reheating A390

- (a) between point A and B  
(b) between point B and C

은 재가열 전 과정에서 중심부(B)와 단열재와 접하고 있는 하단부(C)의 온도차가 일부구간에서 최대  $50^\circ\text{C}$  정도이지만, 최종 유지단계에서 각 위치별로 온도차는  $\pm 1^\circ\text{C}$ 로서 균일한 온도분포를 나타내었다.

Fig. 4는 A390의 온도상승곡선을 나타내고 있다. A390의 경우 A357과 달리 과공정(Hyper-eutectic) 합금으로서 공정온도 이상에서는 변화가 심하기 때문에 초기 온도상승구간에서 A357의 온도보다는 약  $100^\circ\text{C}$ 정도 높게 설정하였고, 비례적으로 최종 온도상승구간과 유지구간의 온도차를 줄여 적절한 구상화 조직을 가지도록 재가열 실험을 수행하였다. 전체 가열시간은 10분으로서 설

Table 3 Experimental conditions for A357 casting frame

Exp. No.	T <sub>d</sub> (°C)		T <sub>m</sub> (°C)	Injection Condition							
	Fixed	Moving		s(mm)		v(m/s)		t(s)		p(bar)	
1	110	110	581	200	320	1.0	1.0	0.0	0.010	550	550
				350	390	0.3	0.3	0.015		1100	
					450	0.3					
2	128	138	581	200	320	1.0	1.0	0.0	0.010	550	550
				350	390	0.3	0.3	0.015		1100	
					450	0.5					

정된 3단 재가열 조건을 잘 만족하고 있다.

Fig. 5의 (a), (b)는 A390의 각 부위별 온도차이를 나타내고 있다. A357의 경우보다 약간 큰 온도차를 보이고 있지만 최종 유지단계에서 온도차는  $\pm 1^\circ\text{C}$  이내로서 균일한 온도분포를 얻을 수 있었다.

### 3. 성형시스템

#### 3.1 반응용 다이캐스팅 성형실험

##### 3.1.1 반응용 다이캐스팅 성형장치

반응용 합금을 재가열할 때는 가열되는 빌렛의 표면에 산화층이 생성되고, 빌렛 단면의 외측면과 중심부분의 온도가 일정하지 않다. 따라서 재가열되는 빌렛의 내부 및 외측표면을 균일하게 처리하는 것이 요구되는 물론, 재가열 중 빌렛의 표면에 생성된 산화층도 금형의 내부로 유입되지 않도록 하는 것이 필요하다. 런너 부분에 약간의 흠을 가공하여 재가열된 소재의 산화피막을 제거하게 하였다. 플런저 팁은 제품의 원활한 취출과 슬리브 내에서 산화피막을 제거하기 위해서 테이퍼진 부분의 길이를 20mm로 하였다. 또한, 소재가 충전된 후 가압력이 충분히 전달 될 수 있도록 플런저 팁을 설계하였다.

그리고, 플런저 팁의 끝단부분은 재가열된 소재의 산화피막이 슬리브와 플런저 팁 사이로 쉽게 유입되고 소재의 소착을 방지하기 위해 R2 라운드 처리를 하였다.

재가열 후 기존 주철재의 가전용 압축기 부품을 알루미늄 소재로 대체하기 위해 반응용 다이캐스팅 성형실험을 하였다. 성형실험에 사용된 장비는 Buhler 42N type이며 성형조건은 고정 및 이동 금형의 온도, 소재의 온도, 플런저의 이동거리 및 속도, 시간에 따른 가압력의 변화 등을 고

려하여 성형을 하였다.

##### 3.1.2 반응용 다이캐스팅 조건에 따른 성형성

본 연구에서 제시한 금형의 구조는 캐비티 내부에서 소재 유동성의 불량으로 압력을 가하기 전에 응고현상이 일어나지 않도록 충전 실험을 통하여 게이트의 크기와 위치를 개선한 것이다. 또한, 초기 유입된 산화층을 제거하기 위한 오버플로우의 위치, 크기 및 혼입된 가스를 제거하기 위한 에어벤트 방안을 제시하였다.

Table 3~4에서 나타낸 바와 같이 각각의 소재에 대하여 금형의 온도(T<sub>d</sub>), 소재온도(T<sub>m</sub>), 플런저의 이동거리(s), 플런저의 속도(v), 시간(t)에 따라 가압력(p)을 변화시키면서 성형성 실험을 하였다.

반응용 다이캐스팅 공정 중 액상 편석과 미성형을 방지하기 위해서는 플런저 팁의 행정거리에 따른 속도제어가 극히 중요하다. (200~320)mm일 때는 1.0m/s로 하여 금형 슬리브 내에 소재가 완전히 충전되도록 하였다. 또한 소재가 게이트를 통과하여 따라서 Table 3의 Exp. No. 1의 경우는 플런저의 행정거리가(200~320)mm일 때는 1.0m/s로 하여 금형 슬리브 내에 소재가 게이트를 통과하여 최종 충전되기까지는 속도를 0.3m/s의 저속으로 유지하여 반응용 소재가 캐비티 내부에 충전이 되도록 하였다. Table 3의 Exp. No. 2는 반응용 소재가 금형의 제품부에 충전이 완료된 후 부터는 속도를 0.3m/s에서 0.5m/s로 상승시켜 오프플로우의 공기를 순간적으로 유출시키도록 하였다.

Fig. 6은 Table 3과 4의 사출조건에 대응하는 플런저의 이동거리와 속도 사이의 관계를 나타낸 것이다. (2)위치는 슬리브 내부로 반응용 소재가 완전히 충전되는 위치이며, (3)위치는 금형의 게이트까지 소재가 충전되었을 때이다. 최종 충전 단계인 오버플로우 성형까지의 플런저의 변위를

Table 4 Experimental conditions for A390 casting frame

Exp. No.	T <sub>d</sub> (°C)		T <sub>m</sub> (°C)	Injection Condition						
	Fixed	Moving		s(mm)	v(m/s)	t(s)	p(bar)			
1	126	136	570	200	320	1.0	1.0	0.0	550	550
				350	390	0.3	0.3	0.010		1100
					450		0.82	0.015		

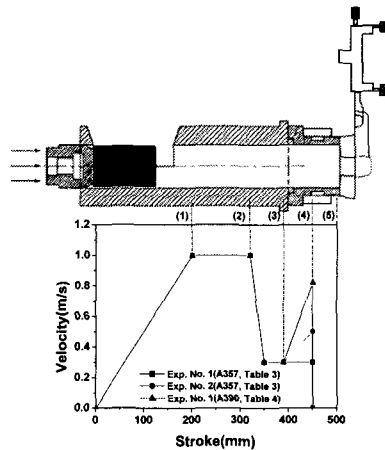


Fig. 6 Velocity change depending on the stroke displacement for semi-solid die casting frame of A357 and A390

나타내고 있는 위치는 (4)이며, (5)는 슬리브의 전체 길이를 나타낸다.

Table 4는 A390의 소재를 이용하여 반응용 다이캐스팅을 할 때 표면결함과 미충전 현상이 발생하지 않은 성형조건을 시행착오법으로 구한 플런저의 이동거리와 사출속도 사이의 관계를 나타낸 것이다. A390의 경우는 Table 3의 A357재료의 사출조건(Exp. No. 2)과 유사하나 충전 완료 후 오버플로우 내의 가스 유출에 의하여 최종 사출조건을 최대 0.82m/s까지 증가시켰다.

Fig. 7은 Table 3의 Exp. No. 1의 사출조건이며, 고정금형과 이동금형의 온도는 110°C, 소재의 온도는 581°C이다. 시간에 따른 가압력은 초기에 550bar로 설정하고 0.01초까지 유지하며, 최종적으로 0.015초 후의 가압력은 1100bar로 설정하였다. 입력한 속도와 유사하게 출력되고 있으며 특히 시간에 따른 가압력 관계는 속도가 0.0m/s가 되는 위치에서 압력이 가해지고 있는 것을 알 수 있었다. 그러나, 초기설정 압력 550bar보다 250bar 정도 낮은 300bar에서 초기 가압력이 작용하고 있는 것을 알 수 있었다.

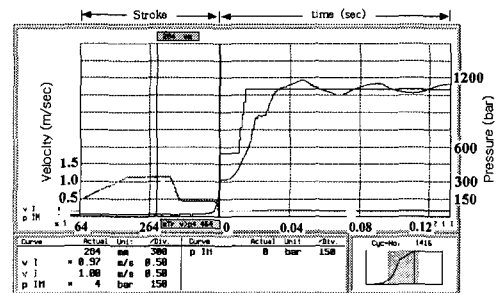


Fig. 7 Injection curve for semi-solid die casting frame of A357 (Exp. No. 1)

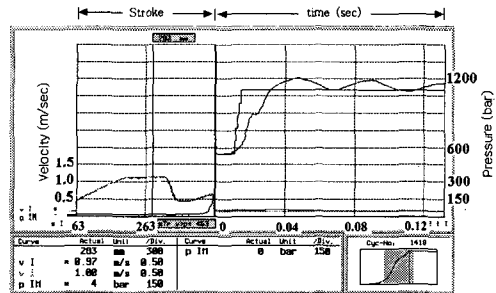


Fig. 8 Injection curve for semi-solid die casting frame of A357 (Exp. No. 2)

Fig. 8은 Table 3의 Exp. No. 2의 조건이며 고정 금형과 이동 금형의 온도는 각각 128°C, 138°C이고 소재의 온도는 581°C이다.

Fig. 6에서 보여주는 바와 같이 (3)의 위치에서 (4)의 위치까지는 최종속도가 0.5m/s로 변화하고 있음을 알 수 있었다. 시간에 따른 가압력의 관계는 속도가 0.0m/s인 위치와 초기 설정한 550bar에서 압력이 가해지면서 성형이 이루어짐을 측정 데이터로부터 관찰할 수 있었다. Fig.7과 8에서 보여 주고 있는 바와 같이 반응용 소재가 금형의 캐비티 내부에 완전히 충전이 완료된 시간(t=0)부터 오버플로우에 소재가 충전이 완료되는 시간(t=0.13sec) 사이에서 측정된 압력은 파형의 분포를 보이고 있었다. 위의 원인은 플런저의 순간적인

Table 5 Experimental conditions for squeeze casting with A380

Exp. No.	$T_d(^{\circ}\text{C})$		$T_m(^{\circ}\text{C})$	Injection Condition							
	Fixed	Moving		s(mm)		v(m/s)		t(s)		p(bar)	
1	120	130	590	120	400	1.0	1.0	0.0	0.010	400	400
				435	0.6	0.015	1100				

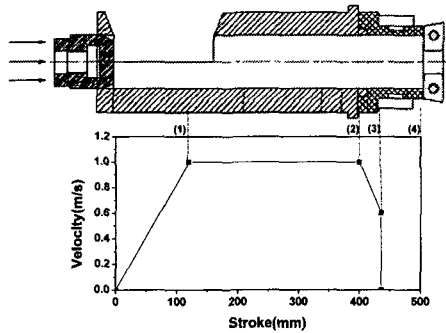


Fig. 9 Velocity change depending on the stroke displacement for squeeze casting of A380(Exp. No. 1 of Table 5)

가압력이 기계의 형체력에 영향을 미치기 때문에 발생한 것으로 사료되었다.

### 3.2 스쿼즈 캐스팅 조건

Table 5는 스쿼즈 캐스팅을 위한 사출조건을 나타낸 것이다. 반응용 다이캐스팅과는 달리 액상에서 고상으로 상변환 시 체적 수축(6~7%)으로 인하여 발생하는 수축기포를 없애기 위해 압력을 계속 가압·보충하여 주는 성형조건으로 실험을 하였다.

Fig. 9은 A380의 경우 Table 5의 조건으로 프레임제품을 제조하기 위한 변위와 속도의 관계를 나타낸 것이다. 성형품의 기공발생의 억제를 위하여 슬리브 내부로 공기가 들어가지 않게 설정되는 플런저의 초기 위치는 충전실험 결과 Fig. 9의 (1)위치에 설정하였다. 속도변화는 Fig. 9에서 보여주는 바와 같이 게이트에 소재가 완전히 충전되는 (2)위치까지 1.0m/s이며, 최종 충전 위치에서는 0.6m/s로 낮게 설정하였다.

Table 5에서 보여주는 바와 같이 고정금형과 이동금형의 온도는 각각 120 $^{\circ}\text{C}$ , 130 $^{\circ}\text{C}$ 이고 소재 온도는 액상상태인 590 $^{\circ}\text{C}$ 이었다. 시간에 따른 가압력은 초기에 400bar로 설정하고 0.01초까지 유지하며, 최종적으로 0.015초 후의 가압력은 1100bar로 설정하였다.

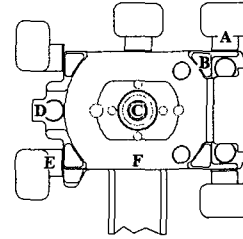


Fig. 10 Examined locations at possible-defected area

### 3.3 성형조건에 따른 제품의 결함

반응용 다이캐스팅에 의하여 알루미늄 프레임을 개발하는 과정에서 미성형된 제품은 찾아 볼 수 없었고, 오버플로우 주변의 미세한 결함은 충전 완료 후 가압조건의 설정에 의하여 해결할 수 있었다. Fig. 10은 Table 3의 조건에 의해 성형된 프레임 부품의 주요 부위와 위치를 나타낸 것이다.

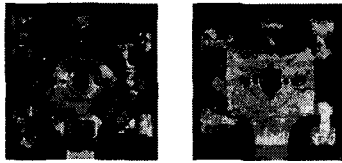
Fig. 11은 Fig. 8의 조건(Table 3의 Exp. No. 1)으로 반응용 다이캐스팅 실험을 했을 때 제품의 외형을 나타낸 것이다. Fig. 11에서 보여주는 바와 같이 오버플로우 위치(Fig. 10의 A 위치)에서 미성형 부분이 관찰되었다.

Fig. 12는 충전완료 시에 사출속도를 Fig. 8(Table 3의 Exp. No. 2)에서 보여주는 바와 같이 최대 0.5m/s로 상승시켜 성형한 경우이다. 이때 미성형 부분은 관찰되지 않았으며, 최종 충전 부위까지 압력이 전달되었고, 표면상태가 양호함을 알 수 있었다.

Table 6은 Table 3~Table 5의 조건으로 성형을 했을 때 제품별 표면 상태를 비교한 것이다. 가압력이 낮고 압력전달이 지연된 Exp. No. 1(Table 3)에서 표면상태가 가장 나쁨을 알 수 있었다. 이러한 이유는 최종 충전시 저속을 유지하여 충전 완료와 동시에 압력이 전달되지 못했기 때문이라고 사료되었다.

### 3.4 금형온도에 따른 성형성

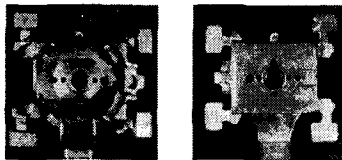
반응용 다이캐스팅 성형실험에서 금형의 온도에 대략 110~140 $^{\circ}\text{C}$  정도에서 아주 낮게 설정하였다.



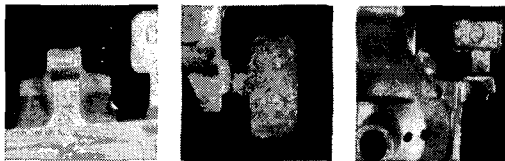
(a) Overall A357 frame



(b) Location A (c) Location B (d) Location C  
**Fig. 11** Photos of A357 frame with fabricated by semi-solid die casting under the condition of Exp. No. 1 of Table 3



(a) Overall A357 frame



(b) Location D (c) Location E (d) Location F  
**Fig. 12** Photos of Al frame with A357 fabricated by semi-solid die casting under the condition of Exp. No. 2 in Table 3

**Table 6** Comparison of defect depending on the injection condition

Material	Exp. No.	Process	Defect Phenomena	Surface condition
A357	1	SSC	Unfilled at overflow	Unfilled
	2	SSC	Filled completely	Good
A390	1	SSC	Filled completely	Good
A380	1	Squeeze	Filled completely	Good

기존의 연구에서 이용되어진 금형의 가열방 법으로는 금형 전체에 균일한 온도분포를 나타낼 수 없으므로, 금형온도를 (110~140℃) 범위 내에서 실험을 수행하였다. 중요한 실험 변수로는 플런저의 이동거리에 따른 사출속도를 변화시키면서 결함이 없는 알루미늄 프레임 제품을 성형할 수 있었다.

### 3.5 알루미늄 프레임의 기계적 성질

#### 3.5.1 T6 열처리

Table 3의 Exp. No. 1, 2의 사출조건으로 제조한 A357 성형품을 열처리하였다. 540℃에서 10시간 용체화 후 물에 퀘칭시키고, 170℃에서 6시간 시효시킨 다음 공냉시키는 T6처리를 하였다.

#### 3.5.2 사출조건에 따른 기계적 성질 비교

각 사출조건별로 제품의 경도시험, 인장시험, 마모시험을 실시하였다. Fig. 13에 표시된 부위에서 인장시편과 마모시편을 채취하여 Table 3의 조건으로 성형한 제품을 열처리하여 비교·검토하였다.

Fig. 14는 경도시험 및 조직사진의 위치(Fig. 14의 단면 H-H'에서 보여주는 A, B, C, D, E)를 나타낸 것이다. 반응용 다이캐스팅 성형조건에서 특히 속도변화를 달리한 제품으로 경도시험을 실시하였다.

Fig. 15는 T6 열처리한 A357과 과공정합금으로 열처리를 하지 않은 A390의 경도시험 결과를 나타낸 것이다. A357(T6) Exp. No. 2의 조건에서는 Exp. No. 1의 조건보다 최대 50(HV)정도 높은 경도를 나타내었다.

이러한 원인은 최종 충전을 위한 플런저의 속도는 압력전달과 밀접한 관련이 있으며, 외형상 100% 충전을 나타내는 Exp. No. 1(Table 3)의 조건에서는 최종 충전시 저속의 0.3m/s로 유지되어 속도가 보다 빠른 Exp. No. 2(Table 3)에 비하여 가압시작시간이 지연되었기 때문이다.

또한 충전이 완료된 후 금형과의 접촉부분은 냉각속도가 빨라지므로 그 부분에서는 응고와 동시에 수축이 발생하게 되어 금형벽면과 제품 사이에 공극이 발생하였고, 이때 가해진 압력으로 제품 내부에 응고하지 않은 공정조직이 응고층으로 유출되어 공극을 채우게 되는 공정편석이 발생하였기 때문이다.



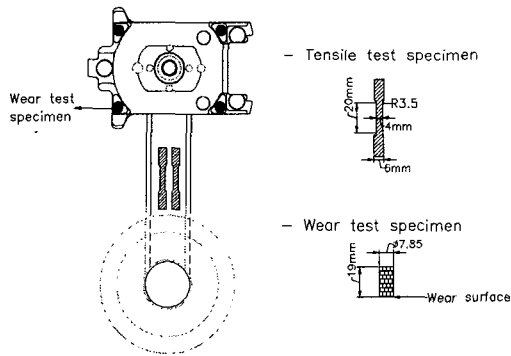


Fig. 13 Location and size of tensile and wear test specimens at the Al frame

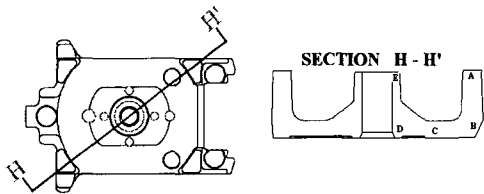


Fig. 14 Positions of hardness test

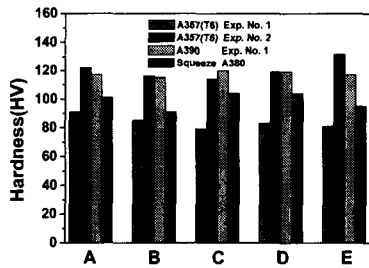


Fig. 15 Hardness of the Al frame at various casting process and heat treatment conditions

이러한 공정편식으로 용체화 처리시 초기 응고층과 공정편식으로 형성된 응고층이 분리되는 블리스터(blister)가 발생하였고 표면상태가 불량하고 제품의 기계적 성질이 불균일하게 되었다. 또한, Fig.7에서 보여주는 바와 같이 Exp. No. 1(Table 3)의 조건에서는 초기 설정한 550bar보다 낮은 300bar에서 가압되고 있으며, 낮은 가압력으로 응고시에 제품 내에 기공이 발생한 것으로 사료되었다. A380을 스퀴즈캐스팅한 성형품은 A357(T6), A390보다 낮은 90~105 (HV) 정도의 경도값을 관찰할 수 있었다.

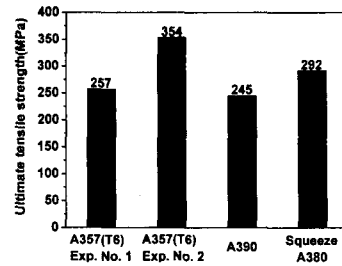


Fig. 16 Ultimate tensile strength of the Al frame at various casting process and heat treatment conditions

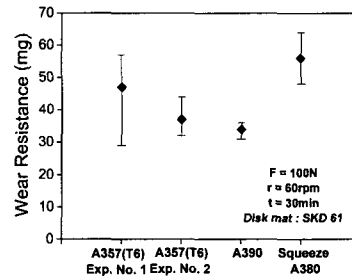


Fig. 17 Wear resistance of Al frame with various casting condition and heat treatment

Fig. 16은 인장시험 결과를 나타낸 것이다. 인장시험은 10 Ton MTS를 사용했으며, 인장시험속도는 10mm/min로 하였다. 내부기공이 발생하지 않고, 압력전달이 양호한 A357(T6) 소재가 가장 높은 인장강도를 나타냄을 알 수 있다. 또한 A380 소재를 이용하여 스퀴즈캐스팅으로 성형한 경우는 A390 소재를 이용하여 반응용 다이캐스팅으로 성형한 제품에 비하여 경도는 낮지만 인장강도는 높은 것을 알 수 있었다.

Fig. 17은 마모시험의 결과를 나타낸 것이다. 마모성능을 시험하기 위하여 Fig.14에 나타낸 시편을 제작하여 마모시험을 실행하였다. Disk와 시편을 압착력 100N, 회전수 60rpm으로 10분간 3회씩 마찰시켜 마모된 양을 측정하여 마모량을 나타내었고 A390과 열처리한 A357의 경우 높은 마모저항을 가지는 것을 관찰할 수 있었다.

#### 4. 결론

반응용 다이캐스팅 공정을 이용한 내마모계 가진용 압축기 부품 성형실험을 통하여 다음과 같

은 결론을 얻었다.

(1) 수평형 유도가열 시스템을 설계, 개발하여 수직형 시스템의 결점인 자중에 의한 좌굴현상을 보완할 수 있었고, 재가열 시간의 단축과 균일한 온도분포를 가지는 반응용 다이캐스팅에 적합한 재가열 조건을 도출하였다.

(2) 사출시 플런저의 이동거리와 속도, 시간에 따른 가압력의 변화에 관한 최적의 반응용 다이캐스팅 성형조건을 도출하였다.

(3) 최종 충전단계에서 사출속도를 증가시키면 초기설정압력에 도달하는 시간이 감소되고 압력전달이 양호하여 최종충전부위에서의 공정편석과 제품내부에 수축공이 발생하는 것을 방지할 수 있었다.

(4) 가전용 압축기 부품인 알루미늄 프레임이 요구하는 기계적 성질을 얻을 수 있는 금형의 구조와 재가열조건, 반응용 다이캐스팅 사출조건을 제시하였으며, 위의 조건은 향후 자동차 및 가전제품의 압축기 부품을 개발하는 데 활용되어질 것이다.

#### 참고문헌

- (1) Yoshida, C., Moritaka, M., Shinya, S., Yahata, S., Takebayashi, K. and Nanba, A., 1992, "Semi-Solid Forging Aluminium Alloy," *Proc. of 2nd Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, pp. 95~102.
- (2) Martin, C. L., Brown, S. B., Favier, D. and Suery, M., 1994, "Mechanical Behavior of Coarse Dendritic Semi-Solid Sn-Pb Alloys under various Stress States," *Proc. of 3rd Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, pp. 27~36.
- (3) Seconde, J. F., 1984, "Microstructure et Rheologie Des alliages Sn-Pb Semi-Solid," Ph. D. Thesis, Inst. Nat. Pol. De Grenoble, France
- (4) Kumar, P., Martin, C. L., and Brown, S., 1994, "Predicting the Constitutive Flow Behavior of Semi-Solid Metal Alloy Slurries," *Proc. of 3rd Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, pp. 37~46.
- (5) Tietmann, A., Bremer, T., Hirt, G. and Kopp, R., 1992, "Preliminary Results in Thixoforging Aluminium Wrought Alloys," *Proc. of 2nd Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, pp. 170~179.
- (6) Kitamura, K., Ando, Y., Hironaka, K., Yahata, S. and Yoshida, C., 1994, "Die Casting of Aluminium Alloy in Semi-Solid State," *Proc. of 3rd Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, pp. 181~190.
- (7) Vinarcik, E. J., Taylor, J. D. and Farris, K., 1998, "Automotive Fuel System Component Design for Manufacturing Using the Semi Solid Process," *Proc. of 5th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, pp. 105~113.
- (8) Idegumori, T., Hirono, H., Ito, O., Kimishima, S. and Mizoue, K., 1998, "The Manufacturing of Automobile Parts Using Semi-Solid Metal Processing," *Proc. of 5th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, pp. 71~77.
- (9) Midson, S. P., Minkler, R. B. and Butcher, H. G., 2000, "Gating of Semi-Solid Aluminum Castings," *Proc. of 6th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, pp. 67~71.
- (10) Kang, C. G. and Kang, D. W., 1997, "The Effect of Forging Process Conditions of Semi-solid Aluminum Material on Mechanical Properties," *Transactions of The Korean Society of Mechanical Engineers(A)*, Vol. 21, No. 9, pp. 1400~1403.
- (11) Eisen, P. and Young, K., 2000, "Diecasting Systems for Semiliquid & Semisolid Metalcasting -Applications," *Proc. of 6th Int. Conf. on Semi-Solid processing of Alloys and Composites*, pp. 41~46.
- (12) Althix Billets, 1996, Aluminium Pechiney.