기술자료

다이캐스팅용 붕괴성 중자 기술

김기영

한국기술교육대학교 에너지·신소재·화학공학부

Disposable Core for Die Casting

Ki-Young Kim

School of Energy, Materials and Chemical Engineering, Korea University of Technology and Education

1. 개 요

수많은 소형재 제조 공법 중에서 다이캐스팅 공법은 타 소 형재와의 가격 경쟁력 뿐만 아니라 주물 생산현장에서의 인력 확보난의 타개책으로는 설비의 자동화가 필수적이라는 면을 고려할 때, 다이캐스팅 특유의 고생산성을 유지하면서 요구품질에 대응할 수 있는 새로운 기술의 개발은 꾸준히 요구되고 있는 현실이다.

다이캐스팅 기술은 크게 다이캐스팅의 영역확대기술과 다이캐스팅 생산성 향상 기술로 대별할 수 있다. 이 중 다이캐스팅 영역확대기술은 Table 1과 같이 다이캐스팅 신공정 기술과 신 합금 기술로 나눌 수 있는데, 신공정기술 중에서 기존의 중력

주조를 비롯한 다른 제조공법으로 제조하고 있던 부품의 다이 캐스팅화에 없어서는 안될 기술이 바로 붕괴성 중자기술이다.

다이캐스팅은 고속, 고압으로 주조하므로 주형 및 중자 재료 는 이에 견딜 수 있도록 전부 금속(공구강)을 사용하고 있어서, 반복사용이 가능한 장점이 있으나 내부가 복잡한 부품과 언더 커트가 있는 부품의 성형이 곤란한 단점이 있어서 다이캐스팅 의 영역확대에 걸림돌이 되어 왔다. 그러나 근래에 들어와서 다이캐스팅 시의 고압력에 견딜 수 있는 모래중자 기술 및 플 래스틱 중자의 처리 기술 등이 개발되면서 복잡 형상의 언더 커트 처리가 가능하게 되어 타 공법으로 제조되고 있던 부품 의 다이캐스팅화가 진전을 이루게 되었다.

언더커트가 있는 부품의 제조방법(Table 2)은 분할 주조 후 일체화하는 방법과 중자를 이용한 일체 주조방법이 있는데 [1], 전자는 분할 주조 후 용접, 볼트 체결 또는 용착시키는 방법으 로 현재 다이캐스팅에서도 일부 부품에 적용되고 있다. 후자의 중자는 전부 1회용으로 모래중자, 수용성 중자, 플라스틱 중자, 금속 중자, 정치 중자가 사용될 수 있는데, 이 중 생산성, 가 격 면을 고려할 때 유망한 것이 모래 중자 [1-7]와 플라스틱 중자 [8,9]이다.

2. 모래중자

다이캐스팅용 모래중자는 중자본체와 도형재로 구성이 되는데, 중자본체는 다이캐스팅 시의 고압력에 견딜 수 있는 강도를 가

Table 1. 다이캐스팅 기술의 요약.

다이캐스팅 영역확대기술	다이캐스팅 공정기술	붕괴성중자 GF PF 반고상주조 스퀴즈캐스팅
	다이캐스팅용 합금 개발	내열합금 고강도합금 경량 합금
다이캐스팅 생산성향상기술	다이캐스팅 고유기술	분체슬리브유회제 분체이형제 거품이형제 내열슬리브 고수명플런저팁 금형온도조절 금형수명향상 금형설계
	다이캐스팅 자동화기술	중자삽입 트리밍 스프레이 금형교환 자동급탕로

Table 2. 언더커트 처리방법.

언더커트 처리 방법	정밀주조 후 일체화	용접 볼트체결 용착
	중자를 이용한 일체주조	모래중자 플라스틱중자 금속중자 정치중자

저야 하고, 도형재는 중자 표면의 요철 및 구멍을 메우기 위한 붕괴능력과 고압력의 용탕과 용착하지 않아야 한다는 요구조건을 충족시켜야 한다.

2.1 모래중자의 강도

다양한 모래중자 제조법 중에서 다이캐스팅용 중자로는 성형성, 생산성을 고려할 때 셀중자가 가장 유리하다. 셀중자의 기재로는 규사와 지르콘사가 주로 쓰이는데, 규사와 지르콘사에 페놀수지를 중량비로 1.8~2% 첨가하여 제조한다. 이 때 중자의 제조는 중자제조변수인 투입압력, 금형온도 및 경화시간을 변화시키면서 제조할 수 있는 셀중자 제조 장치를 이용하여야 하며, 항절강도는 시편을 일정간격의 지점 위에 얹어놓고 한가운데 하중을 가하여 시편이 파단될 때의 하중을 읽어서 항절강도로 하는데, 시험기는 주물사 시험용 만능강도시험기를 이용하여 측정한다.

중자기재가 규사인 경우의 셀중자 성형온도, 성형압력 및 경화 시간에 따라서 항절강도가 변화하는데, 성형시간이 증가하면 항절강도의 증가는 별로 없으나, 성형압력이 증가하면 항절강도는 증가한다. 특히 성형온도 300°C에서 성형압력의 영향이 가장 크다. 성형온도의 경우는 성형압력 2 kg/cm², 3 kg/cm²에서는 큰 변화가 없으나, 4 kg/cm²에서는 성형온도가 증가함에 따라 항절강도는 감소하는데, 항절강도는 낮은 것이 18 kg/cm², 높은 것이 34 kg/cm² 정도이다.

중자기재가 지르콘사인 경우는 성형압력, 온도, 시간과 항절강도의 상관관계가 뚜렷하지 않은데 이는 중자 모래에 레진을 코팅할 때 지르콘사는 규사에 비하여 입도가 가늘므로 균일한 코팅이 되지 않았기 때문으로 보인다. 항절강도의 범위는 낮은 것이 18 kg/cm², 높은 것이 37 kg/cm² 정도이다. 적당한 셀중자의 제조 조건은 성형압력 4 kg/cm², 성형온도 300°C, 성형시간은 60초 부근이다.

2.2 도형재

다이캐스팅용 붕괴성 중자의 도형재의 요구성능은 두가지가 있는데 하나는 중자 표면의 요철 및 구멍을 막기 위한 붕괴능력이고, 또 하나는 고압력의 용탕과 눌어붙지 않고 미세한 부분의 용탕의 침투를 방지하여야 한다는 것이다. 이러한 기능을 수행하기 위해서는 각 요구성능에 대응하여야 하므로 붕괴를 위한 1차 도형재와 용탕과의 반응 및 미세한 침투를 방지하는 2차 도형재가 분리되어 사용되는 것이 일반적이다.

도형재의 구성은 도형골재와 점결제로 구성이 되는데(Table 3), 도형골재로는 용융실리카 분말, 지르콘사 분말, 알루미나, 알루미늄 분말, 운모 등이 쓰이며, 점결제로는 페놀수지, 메타놀, 물, 요소수지, 에틸실리케이트 등을 여러 가지 배합비로 배합하여 도형재를 제조한다.

도형하는 방법에는 붓칠, 스프레이, 침지법 등이 있으나, 복잡한 형상의 도형이 용이한 침지법이 널리 이용되고 있다.

도형성은 중자에 도형하고 건조시킨 후 육안으로 도형면 및

Table 3. 붕괴성 모래 중자의 구성.

구분	중자	제1도형재	제2도형재
골재	규사 지르콘사 올리빈사 물라이트	알루미나 알루미늄 규사 지르콘사	흑연 천연운모 합성운모 스텐레스강 지르콘사 용융실리카 알루미늄
점결제	페놀수지 후란수지 아민수지	물 유리 물 콜로이달실리카 메타놀 페놀수지	물
붕괴제	스테아린 산칼슘	테트라브로모비스페놀 과망간산칼륨	-
소포제	-	○	○
습윤제	-	호박산나트륨	호박산 나트륨

도형 정도를 관찰하고 도형두께를 측정하여 양부를 판단하며, 도형재의 점도는 점도계를 이용하여, 적절한 스펀들을 회전시키면서 측정한다. 비중은 비이커에 도형재를 일정 체적 부은 후 무게를 달아서 측정한다.

2.2.1 점결제

점결제로는 물, 메타놀, 페놀수지를 사용하고 골재로는 지르콘사 분말, 용융실리카 분말 등을 사용, 여러 배합비로 제조한 도형재의 물성 및 도형성은 다음과 같다.

점결제로 물을, 골재로 지르콘사 분말을 배합하면 비중은 2.0, 점도는 거의 0이며, 도형성은 좋은 편이나 건조 후 손에 묻어 나오고 도형층의 박리가 용이하여 실제 주조 시의 금형에의 삽입이 곤란한 단점이 있다.

점결제로 물을, 골재로 용융실리카 분말을 배합한 경우 비중은 1.48, 점도는 7.5 cps이고, 도형성은 좋은 편이나 건조 후 손에 묻어 나오고 도형층의 박리가 용이하여 역시 취급이 곤란하다.

점결제로 메타놀을, 골재로 용융실리카 분말을 배합한 경우 비중은 0.76, 점도는 0에 가까우며, 도형성은 좋은 편이나 건조 후 손에 묻어 나오므로 취급이 곤란하다. 그러나 1차 도형 후 요소수지를 표면에 스프레이하여 건조시키면 손에 묻어 나오지는 않지만, 손톱으로 긁으면 쉽게 들고 일어나는 단점이 있다.

점결제로 페놀수지를, 골재로 지르콘사 분말을 3:7로 배합한 경우 침지도형성이 좋고 도형막 강도도 우수하다.

전체적으로 중자기재가 규사보다는 지르콘사가 도형이 잘 되는데, 이는 지르콘사의 입도가 가늘어서 중자골재와의 입도차이가 작기 때문으로 보인다. 그리고 중자성형온도가 낮으면 침지도형성이 떨어진다.

점결제로 페놀수지를, 골재로 지르콘사 분말을 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7로 배합한 경우 비중은 1.344, 1.403, 1.496,

1.715, 1.971, 2.474로 변화하고, 침지도형성은 배합비가 5:5까지 되는 도형이 거의 안되며, 4:6부터는 도형이 개선된다. 배합비가 3:7인 경우의 점도는 60~110 cps 이다.

2.2.2 도형층의 두께

1차 도형 만으로는 충분한 도형층을 얻을 수 없으므로 2차 도형을 하는데, 2차 도형재로는 1차 도형재를 반복하여 사용하는 경우와, 급열에 의하여 팽창하는 특성을 가진 운모를 첨가한 별도의 도형재를 제조하여 도형하는 경우가 있다. 어느 경우이든지 1차 도형 후 충분히 건조시키고 나서 2차 도형을 실시하여야 한다. 이러한 경우 도형 두께를 일정하게 하는 것이 매우 곤란하여 실제 공정에서는 일정한 도형 두께 범위를 설정하여 관리하여야 한다. 도형이 예상보다 두꺼워지면 합형 시에 중자가 부숴지게 되고, 예상보다 얇거나 도형이 균일하게 안되면(Fig. 1) 그 사이로 용탕이 침투하여 들어가게 된다. 침지도형법은 복잡한 부분의 도형이 가능하고, 도형시간이 짧은 장점이 있으나 침지 후 표면의 도형재가 흘러내리므로 밑부분의 도형두께가 두꺼워진다.

각종 도형재를 시편에 침지하고 나서 측정한 도형층 두께의 일례는 Table 4와 같다. 1차 도형에서는 도형 후 도형되지 않은 곳이 군데군데 나타나나, 2차도형 후에는 그러한 부분은 관찰되지 않는다. 1차 도형층의 두께는 0.05 mm정도이며, 침지하므로 도형층 두께의 상하차이가 발생하는데, 1차 도형 후에는

상하 간에 0.05 mm의 두께차이가 발생하고, 2차 도형 후에도 이 범위 내에서 두께차이가 발생하는 경우가 많다.

2.3 주조시험

Fig. 3은 다이캐스팅 시험주조용 중자로 단면부에 언더컷트가 있어서 통상의 다이캐스팅용 금속 중자로는 성형이 불가능한 형상이다. 주조시험은 형체결력이 350 t인 횡형 다이캐스팅기를 이용하여 주조압력은 700 kg/cm², 저속사출속도 0.3 m/sec, 고속사출속도 1.5 m/sec로, 통상의 금형 중자를 사용하는 조건으로 주조한 경우이다. 용탕재질은 ALDC 8종으로 용탕온도는 660°C, 금형온도는 120°C이고, 금형재질은 SKD61종이며, Fig. 3은 붕괴성 중자를 고정형에 설치한 예(그림에서 흰부분)이다. 금형방안은 Fig. 4와 같다.

2.3.1 탈사성

주조 후의 시험편은 모래를 두들려서 털어낸 후, 샌드블라스팅하여 모래를 제거하는데, 표면에 소착이 일어나지 않는 경우는 완전한 모래의 제거가 가능하나, 소착이 일어난 부위는 제거가 곤란하다. 샌드블라스팅으로 제거가 어려운 경우는 페놀수지의 연화점 이상의 온도로 가열하면 제거가 가능하다.

2.3.2 주조 후의 표면 상태

도형하지 않은 중자는 역시 사립(沙粒)사이로 용탕의 침투가

Fig. 1. 도형이 불균일한 경우의 표면(하얀부분이 도형된 부분).

Fig. 2. 시험주조용 중자의 치수.

Table 4. 도형 두께.

조 건	1차		2차	
	평균두께	상하편차	평균두께	상하편차
점결제 : 골재 배합비 3:7 1, 2차 도형재 동일, 도형기재 : 규사	0.05	0.05	0.08	0.07
점결제 : 골재 배합비 3:7 1, 2차 도형재 동일, 도형기재 : 지르콘사	0.05	0.05	0.11	0.05
1차도형재 점결제 : 골재 배합비 3:7, 2차도형재 1차도형재 + 운모 도형기재 : 규사			0.12	0.05
1차도형재 점결제 : 골재 배합비 3:7, 2차도형재 1차도형재 + 운모 도형기재 : 지르콘사			0.13	0.05

Fig. 3. 고정형에 삽입되어 있는 붕괴성 중자(하얀 부분).

Fig. 5. 모래중자로 제조한 실린더 블록(closed deck).

Fig. 4. 붕괴성 중자를 사용한 다이캐스팅의 금형 방안.

심하여 샌드블라스팅 후의 표면이 거친데, 지르콘사보다는 입도가 큰 규사의 경우가 심하며, 중자기재가 규사인 경우가 입도가 가늘고 내열성이 좋은 지르콘사인 경우보다 표면의 굴곡이 심하다. 탈사 후의 표면 상태는 탕구부(용탕이 직접 모래중자에 충돌하는 부위)와 측면을 타고 흐르는 좌우측부위, 그리고 오버플로우 부위에서 차이를 나타낸다. 도형충이 균일하지 않고 부분적으로 굴곡이 있는 부분에는 예외없이 용탕의 침투가 일어난다. 그러나 도형두께가 어느 정도 이상이 되면 용탕이 직접 충돌하는 부위에도 모래 속으로의 용탕의 침투는 일어나지 않는다.

2.3.3 내부 조직

내부 단면조직은 통상의 다이캐스팅한 경우와 비교하여 보면 다른 양상을 나타내는데 [4], 금형 중자를 사용하면 표면부의 α -덴드라이트가 뚜렷한 영역이 양쪽으로 나타나고 두께방향으로 중심부위에 침상의 Si이 정출하나 모래중자를 사용한 경우는 모래중자 쪽으로 갈수록 조직이 거칠어진다. 또한 금형과 접촉하는 부위는 냉각이 빠르고, 모래중자와 접촉하는 부위는 냉각이 느려서 기포, 수축공 등의 발생부위가 모래 중자 쪽으로 치우치기 쉽다.

2.4 적용 예

미국, 일본 등에서는 1980년 대 후반부터 자동차 엔진의 실

Fig. 6. 모래중자를 이용 다이캐스팅하여 제조한 드라이버 헤드.

린더블록(Fig. 5), 워터펌프 하우징, 골프채 헤드(Fig. 6) 및 기계부품 [7] 등에 다양하게 모래중자를 사용, 양산하고 있다.

3. 플라스틱 중자

3.1 중자 재료

플라스틱 중자는 통상의 사출성형으로 복잡형상의 제작이 용이하므로 이를 다이캐스팅에 적용하고자 하는 시도가 10여년 전부터 진행되어 왔다 [8]. 현재는 일부 자동차 부품의 생산에 적용이 되고 있다. 다이캐스팅용 중자로 사용 가능한 플라스틱 중자는 크게 두가지 서로 상반되는 조건을 만족시켜야 한다. 다이캐스팅 주조 시의 즉 성형 시의 비붕괴성과 성형 후의 붕괴성이다. 성형 시에는 고온, 고압의 용탕과 접촉하므로 내열성과 내압성이 요구되고, 주조 후에는 이를 제품으로부터 제거하여야 하므로 열소실성과 용제에 의한 용해성이 우수하여야 한다. 따라서 플라스틱 중자 재료의 조건은 비열이 크고 열용량이 커야 하며, 주입 시 용탕과의 반응에 의한 가스 발생이 적어야 한다 [9].

이러한 조건을 가장 잘 만족시키는 재료가 폴리카보네이트

Table 5. 플라스틱 중자의 구성.

중자	내열성보호층
폴리카보네이트수지	실리콘고무
사불화에틸렌수지	불소고무
폴리이미드수지	실리콘수지
폴리술폰수지	불소수지
폴리아미드수지	알루미늄분말
폴리프로필렌수지	화인세라믹스

(PC)이고, 사불화에틸렌수지, 폴리이미드수지, 폴리술폰수지, 폴리아미드수지, 폴리프로필렌수지 등도 사용 가능한 것으로 알려져 있다. 그러나 플라스틱 중자에서도 역시 본체만으로는 용탕의 침투 등에 견디기 힘들므로 표면에 내열 피복을 하게 되는데 피복제로는 실리콘고무, 불소고무, 실리콘수지, 불소수지, 알루미늄분말, 화인세라믹스 등을 사용한다(Table 5).

내열성 플라스틱의 열변형 온도는 130~150°C정도이며, 열전도도는 $4.6 \times 10^{-4} \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ 정도로, 금형의 열전도도($1.8 \times 10^{-1} \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$)보다 매우 작다. 플라스틱 중자는 150°C 정도의 비교적 낮은 온도에서 변형이 발생되지만, 외부의 열이 중자 전체에 전달되어 중자의 형상이 변화되기까지는 상당한 시간을 필요로 하므로 용탕이 빠른 속도로 충전되어 단시간에 응고가 완료되는 다이캐스팅 공정에서는 플라스틱 중자가 열변형되기 전에 용탕이 보유하고 있는 열의 대부분이 금형으로 전달 방출되며, 용탕이 응고 완료되기까지 플라스틱 중자의 표면에는 수 μm 정도의 열변형 층만이 형성된다. 따라서 플라스틱의 열변형온도보다도 융점이 높은 재료의 다이캐스팅용 중자재료로 사용이 가능하다.

3.2 중자의 제거

주조 후의 플라스틱중자의 제거방법은 노말알콜벤젠 등의 용제로 녹여 내는 방법과 가열에 의하여 녹여 내는 방법이 있다.

Fig. 7은 플라스틱중자를 적용하여 다이캐스팅으로 터보 케이스를 제조한 후, 중자를 제거시키는 일련의 과정을 보여주고 있다. 터보 케이스의 내부는 나선 형태로 되어 있어 지금까지 붕괴성 모래 중자를 사용하여 중력주조로 제조하고 있는 주조품이다. 그림(a)는 강도가 1300~1800 kg/cm² 정도인 PC를 사출 성형한 중자의 외관이다. 플라스틱 중자는 일반적인 사출기를 사용하여 대량 성형이 가능하며, 종래의 모래 중자와 비교하여 취급이 매우 용이하다 이와 같은 플라스틱중자를 금형의 합형에 앞서 금형 내부에 고정시킨 후, 알루미늄합금 용탕을 다이캐스팅한다. 다이캐스팅 조건은 일반적인 알루미늄 합금과 유사하나, 금형의 한쪽 면이 단열재로 구성되어 있는 것과 유사하므로 용탕온도와 사출압력 등을 다소 낮게 설정할 수 있다. 그림(b)는 알루미늄 합금을 다이캐스팅한 직후의 터보 케이스의 관이다. 사출시 알루미늄용탕은 690°C 정도이지만 플라스틱과 접하는 시간이 불과 수십 초에 지나지 않으며, 충전 완료 후 용탕의 열량 대부분이 금형으로 전달되기 때문에 플라스틱중자의 형상변화는 발생되지 않는다. 또한 단면의 미세조직을 보면,

Fig. 7. 플라스틱 중자 및 제거 과정.

알루미늄과 플라스틱 중자의 접촉 계면에는 0.2~3 μm 정도의 열변형된 플라스틱층만 확인되므로 이들 열변형층이 알루미늄의 응고조직에 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 그림(c)는 다이캐스팅 제품 (b)를 240~260°C에서 수분간 유지시켜 반응용 상태가 된 플라스틱 중자를 제거하였을 때의 플라스틱중자 모습이다. 다이캐스팅 때와는 달리 가열시간이 5~10분 정도로 길어지면서, 플라스틱은 쉽게 반응용상태가 되며, 적은 외력으로도 플라스틱중자를 간단히 제거할 수 있다. 이렇게 제거된 플라스틱은 다시 분쇄하여 중자로 재활용할 수 있기 때문에 종래의 붕괴성 중자와 달리 산업폐기물이 발생되지 않는다. (d)는 플라스틱중자가 완전히 제거된 터보케이스로, 종래의 주조품보다 형상 정밀도가 우수하며, 제품의 두께를 2.3 mm 정도로 최소화시킬 수 있다 또한, 기계가공량을 대폭 삭감시킬 수 있으므로 종래의 주조품에 비해 생산성을 크게 향상시킬 수 있다.

3.3 적용 예

Fig. 8은 플라스틱중자를 적용하여 다이캐스팅한 알루미늄 합금제 인테이크 매니홀드와 여기에 사용된 플라스틱중자의 형상이다. 인테이크 매니홀드는 엔진 연소실로 공기를 공급해주는 부품으로서 현재 모래 중자를 사용하는 대표적인 중력주조 제품이다. 중력주조로 제조한 종래의 인테이크 매니홀드의 중량은

Fig. 8. 플라스틱 중자를 사용, 다이캐스팅한 인테이크 매니홀드.

Fig. 9. 플라스틱 중자를 사용, 다이캐스팅한 워터파이프와 철제 워터파이프.

3.1 kg정도이나, 이를 플라스틱중자를 사용하여 다이캐스팅하면 중량은 1.9 kg정도로 약 38%의 경량화 효과를 얻을 수 있다. 또한 알루미늄합금도 ALDC8종 합금으로 재질을 바꿀 수도 있어 35%정도의 원가 절감이 가능하다.

Fig. 9는 엔진에 냉각수를 공급해주는 워터 파이프로, 좌측의 제품은 종래의 강관 제품이며, 우측의 것은 플라스틱중자를 사용하여 다이캐스팅한 알루미늄 합금 제품이다. 기존의 제품은 강제 파이프를 벤딩 가공한 다음 기타 부속품을 브레이징 혹은 용접하여 제조한 후 부식방지를 위해 도금하는 상당히 복잡한 공정으로 제조하고 있다. 이러한 강관 성형 가공품을 플라스틱중자를 사용해 다이캐스팅할 경우 1/3정도로 경량화가 가능하며, 제조공정 간소화로 생산성을 16배 정도 향상시킬 수 있다. 따라서 비록 알루미늄 가격이 강관보다 비싸지만 제조공

정의 단순화와 생산성 향상으로 제조 코스를 50%정도 절감시킬 수 있다.

4. 결 론

붕괴성 중자를 이용한 다이캐스팅법은 일체 성형법이므로 현재 다른 공법으로 제조되고 있는 복잡 다양한 부품의 다이캐스팅화가 가능하고, 다이캐스팅 제조 공수의 저감 등의 장점을 가지고 있어서 앞으로의 발전이 기대되고 있다. 그러나 이 방법에서 중자의 치수정도, 중자제조 시간의 단축, 탈사성, 중자의 내열성 등 아직 개선하여야 할 과제가 다수 있는데, 이를 극복하면 현재 타 공법으로 제조되고 있는 부품의 다이캐스팅화가 가능하게 되어, 다이캐스팅 특유의 고생산성과 결합시키면 제조원가 절감에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Y. Egoshi et al: 일본다이캐스팅협회 논문집 (1990) 242.
- [2] 일본공개특허: 특개소 56-139256, 59-45054, 64-22449
- [3] S. Fukai et al.: 일본다이캐스팅협회 논문집 (1990) 234
- [4] K. Basu et al. : 16th International Die Casting Congress (1991) 193.
- [5] 김기영, 이민수: 주조, 18 (1998) 15
- [6] T. Tadao et al : Imono 66 (1994) 371
- [7] Borden Co.: Technical Data
- [8] 김준수, 임태원, 주조, 18 (1998) 228
- [9] 일본공개특허: 특개평 7-195144~195147