

# 신 다이캐스팅 기술의 현황

한국기술교육대학교 신소재공학과 김기영

## 1. 서 언

금형을 사용하여 주물을 얻는 것을 통상 금형주조라고 칭하며, 금형주조는 중력금형주조(gravity die casting), 저압주조(low pressure die casting)와 고압다이캐스팅(high pressure die casting)으로 구분되는데, 우리가 통상 다이캐스팅이라 부르는 것은 이 중 세 번째인 고압다이캐스팅을 말한다. 즉 다이캐스팅은 금형을 사용해서, 용융금속을 금형 중에 고압력을 가하여 주조하는 방법이다. 다이캐스팅용 소재에는 알루미늄합금, 아연합금, 동합금, 마그네슘합금 등이 있는데, 이 금속들을 주조기에 부착한 내열 특수강으로 만들어진 치수정도가 높은 금형에 압입주조하는 대량생산방식의 주조방법이다.

다이캐스팅은 기계에 의한 자동화율이 높고, 양산시의 제조원가 저감, 치수 정도, 주물 표면의 미려함, 생산속도(1시간에 1대의 기계로 30~1,000개 생산), 다량생산의 적응성, 부품의 경량 박육화 등의 양산성과 고품질을 겸비하고 있기 때문에 각종 공업제품 및 장식 부품의 제조에 널리 이용되고 있다. 특히 자동차 및 각종기계 부품의 경량화를 위한 필수기술이며 전자제품의 부품 등 고품질, 고정밀도 제품에 대한 요구 증대 때문에, 제반 주조방법 중 근년 연간 신장율이 가장 높은 기술로, 다이캐스팅 부품의 이용범위는, 자동차, 산업기계, 전기·전자기기, 통신기기, 일용품, 스포츠 레저용품 등 점차 확대 일로에 있다.

다이캐스팅기술의 3대 요소는 금형, 주조기술, 주조설비로, 부품 산업의 특성 상 다이캐스팅 업체가 자사 생산 제품을 직접 소비자에게 판매하는 경우는 드물고, 대부분 중간 조립업체에 납품을 하고 있으며, 일부 다이캐스팅부품의 수출도 이루어지고 있다.

## 2. 다이캐스팅의 역사

수천년에 이르는 사형 주조법에 비해서 다이캐스팅의 역사는 겨우 1세기에 지나지 않는다. 그 기원은 1838년 Bruce에 의해서 발명되었다고 전해지고, 목적은 활자를 신속하고 대량으로 주조하는 것이었다. 이 원리를 응용한 플런저기가 H. H. Doehler에 의하여 1905년에 완성되었는데, 상업적으로 성공한 다이캐스팅의 최초의 기계라고 전해진다. 당시 기계는 수동식이었으나 그 후에 수압으로 구동되는 기계로부터 유압으로 구동되는 기계로 발전하였고, 1955년경을 경계로 해서 반자동화 기계가 등장하기 시작하였다. Doehler의 다이캐스팅 머신은 주로 저융점 합금의 다이캐스팅에 이용되었고, 그 다음으로 Soss가 개발한 다이캐스팅 머신은 형 체결, 사출, 형 열음, 스펙 커트 등의 조작을 수동 레버로 하는 것이었다. 그 후 체코슬로바키아의 Polak에 의해서 1926년에 개발된 다이캐스팅 기계는 고용점 합금용 다이캐스팅 기계로서 만들어진 것이다. 이 기계의 주조압력은 21~69 Mpa(210~700 kgf/cm<sup>2</sup>)이고, 수압식으로 여러 가지 형태가 있다. 1929년에 독일의 Eckert사에서 개발된 수압식 중형 다이캐스팅 머신은 고용점 합금의 다이캐스팅이 가능한 기계였다. 현재 많이 사용되고 있는 다이캐스팅기의 형태를 갖춘 것은 2차대전 무렵이고, 그 후 유압기기, 전기기기의 급속한 발달로 완전 무인 조업이 가능한 다이캐스팅기에 의한 생산이 이루어지고 있는 실정이다. 그 이후에 다양한 횡형 다이캐스팅기계와 중형 다이캐스팅기계가 개발되어서 현재 대량 생산에 실용화되고 있다. 또한 기존의 다이캐스팅공법의 약점을 보완하고 제품의 고품질화에 대응하는 진공다이캐스팅법, 스퀴즈캐스팅법, 반고상주조법이 가능한 기계도 양산실용화가 되고 있다.

다이캐스팅기계의 진전은 반드시 다이캐스팅 합금의 개발과 같이 발전하여 왔으나 순도가 높은 아연

다이캐스팅합금의 생산개시와 더불어 핫챔버 다이캐스팅머신도 개발 되어 현재 사용 중에 있다. 또한 자동차 업계에 경량화의 니즈로부터 다이캐스팅 합금 중 가장 가볍고 비강도가 높은 마그네슘 합금 다이캐스팅 수요도 현재 증가하고 있고 전용 핫챔버 머신도 개발 되어 활용되고 있다. 최근에는 매우 강도가 높고, 내식성이 뛰어난 벌크비정질합금의 다이캐스팅도 상용화가 이루어진 상태이다.

다이캐스팅 기계의 흐름을 보면 대형화가 진전이 되어, 특히 콜드챔버 다이캐스팅머신에 있어서는 형체결력이 40,000 kN(약 4,000 t)을 넘는 기계가 제작되고 있고, 또한 수가공 공정을 포함하여 부대되는 자동화 장치 등의 시스템화도 진전되고 있다. 종래 인서트의 사용은 자동화의 장애요인으로써 피해지는 시기가 있었지만 로봇 자동 삽입 장치 등의 도입과 더불어서 제품의 강도 부여와 생산원가 절감의 수단으로써 다시 활발하게 사용되기 시작하였다.

국내 다이캐스팅의 역사 및 관련 통계는 문헌상 일목요연하게 발표된 것이 없으나, 역사는 국내 자동차산업의 발전사와 그 맥을 같이 하고 있다. 다이캐스팅이 국내에 도입된 것은 1960년대 중반으로, 본격적으로 활성화된 것은 1970년대 후반 국내 산업기반이 구축되기 시작한 시기와 일치하며 1980년대 들어와서부터 급속한 성장이 이루어져 왔다.

### 3. 국내 다이캐스팅 업계의 개요

국내 다이캐스팅 생산업체에 대한 정확한 자료는 없으나 관련업계의 소장자료에 의하여 확인된 업체 수는 600여 개이다. 그러나 확인되지 않고 있는 군소업체의 수가 많아서 그 수를 포함하면 더 많을 것으로 추정되고 있다. 이 중 일정 규모 및 수준에 올라있는 업체수는 100개 미만이다.

다이캐스팅용 재료로는 알루미늄 합금, 아연 합금, 동합금, 마그네슘 합금 등이 사용되고 있다. 국내에서는 대부분 알루미늄 합금과 아연 합금으로 생산되고 있으며 마그네슘 합금은 6~7개 업체에서 생산을 하고 있다. 다이캐스팅용 2차합금 지금은 공급하고 있는 합금과 생산업체는 10여 개 정도이다.

다이캐스팅 주조설비제작 전문 메이커가 국내에 설립된 것은 1970년으로, 현재 3~4개의 중소메이커에서 생산이 되고 있다. 소형기종은 국산이 많이 보급되어 있고 품질도 인정받고 있으나, 중대형기는 수입에 의존하고 있는데, 일본산이 대부분을 차지하고 있다. 현재 다이캐스팅 기계의 보유대수는 1,500~2,000대로 추정되고 있다.

다이캐스팅기와 함께 다이캐스팅 생산에서 가장 중요한 요소인 금형은 제품원가에 결정적인 영향을 끼치는데 금형전문업체는 1961년도에 최초로 설립되어 현재 약 300여 개사(추정치)가 금형제작에 참여하고 있다.

### 4. 신다이캐스팅 공법의 현황

다이캐스팅은 고생산성을 자랑하나 종래의 일반 다이캐스팅 방법에서는 내부함유 가스량 과다로 인한 내압성 결여, 파단칠층으로 인한 표면불량, 내부 수축공으로 인한 강도 및 기밀성 저하, 언더컷 처

Table 1. 다이캐스팅법의 불량요인 및 해결 공법

| 불량요인 | 진공다이캐스팅 | 무공성다이캐스팅 | 국부가압다이캐스팅 | 층류충전다이캐스팅 | 핫슬리브법 | 분체이형제법 | 붕괴성중자법 | 스퀴즈다이캐스팅 | 반응고다이캐스팅 | 벌크비정질합금다이캐스팅 |
|------|---------|----------|-----------|-----------|-------|--------|--------|----------|----------|--------------|
| 기공   | ○       | ○        |           | ○         |       |        |        | ○        | ○        |              |
| 수축공  | ○       |          | ○         | ○         |       | ○      |        | ○        | ○        |              |
| 언더컷  |         |          |           |           |       |        | ○      |          |          |              |
| 파단칠층 |         |          |           |           | ○     | ○      |        |          | ○        |              |
| 고강도  | ○       |          |           | ○         |       |        |        | ○        | ○        | ○            |
| 접합성  | ○       | ○        |           |           |       |        |        | ○        | ○        |              |

리 곤란 등의 취약점이 있다. 특히 미려한 표면이 요구되는 제품에서 표면가공 후의 육안으로 관찰되는 기포는 제거하기가 용이하지 않으며, 내 기밀성이 요구되는 부품에서도 불량률의 대부분을 기포결함이 차지한다. 또한 가공 후에 나타나는 하드스포트도 주요 결함의 하나로 들 수 있다.

이와 같이 일반 다이캐스팅법은 여러가지 개선점을 안고 있으므로, 이의 해결을 위하여 새로운 다이캐스팅 주조법이 개발되어 실용화되고 있는데, 기공, 수축공, 언더컷, 파단칠층 기공을 최소화하여 열처리가 가능하고 접합이 가능한 제품을 만들기 위한 다양한 공법은 표와 같다.

#### 4.1. 진공다이캐스팅법

캐비티 내를 감압하여 다이캐스팅하는 방법으로, 도달진공도에 따라서 여러가지 방법이 있으나, 진공도의 유지와 사출 타이밍이 중요하다. 최근에는 급탕방법 및 쉘링방법이 개발되어, 10 kPa이하의 진공도에서 다이캐스팅하여 T6열처리 및 용접이 가능하게 되었다. 그러나 진공다이캐스팅법은 제품 내의 기공을 최소화할 수 있으나, 응고수축을 보상하지는 못한다.

진공 다이캐스팅법은 다양한 방법이 개발되어 실용화되어 왔는데, 진공밸브의 개폐 방식에 따라서 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 타이머로 밸브를 닫는 방식이고, 다른 하나는 용탕충돌로 밸브가 닫히는 방식인데, 최근에는 용탕의 충전에서부터 진공을 이용하여 주조하는 일체형 다이캐스팅법도 개발, 실용화되어 고강도가 요구되는 자동차 차체부품에 적용되고 있다. 기존의 진공다이캐스팅법은 금형부위만 감압하나, 일체형다이캐스팅법은 보온로에서부터 전체를 감압하므로 다이캐스팅 중의 가스량을 최소화 할 수 있는데, 횡형사출법과 종형사출법이 있다.

일체형 다이캐스팅법 중 횡형사출법으로는 실용화된 방법으로 Vacural법(Fig. 1)이 있는데, 금형 내를 감압함과 동시에 전용의 용탕보온로에서 용탕을 흡인파이프에 의하여, 슬리브 내로 감압하여 용탕을 흡인, 급탕한다. 급탕단계에서부터 전체가 진공상태에서 행해지므로 공기와의 접촉이 없으므로 고품질의 다이캐스팅의 제조가 가능한데, 독자적인 사출제어장치로 속도와 압력을 리얼타임으로 독립제어하는 “리얼타임 쇼트엔드 제어”에 의하여 설정압력, 설정속도까지 급속히 제어가 가능하고, 표준사양에서 10 m/sec의 초고속사출도 가능하다.

따라서 열처리와 연신재와의 용접이 가능한 고강도고연성의 박육다이캐스팅의 제조가 가능하므로, 부품의 경량화가 가능하며, 자동차의 바디 부품의 제조에 활용되고 있다.

Vacural법으로 제조한 Al-Si-Mg-Mn합금의 연신율은 주조상태에서 5%이상, 인장강도는 100 MPa 이상을, 그리고 T6처리한 경우는 인장강도 250 MPa, 연신율은 10%정도를 얻을 수 있다.

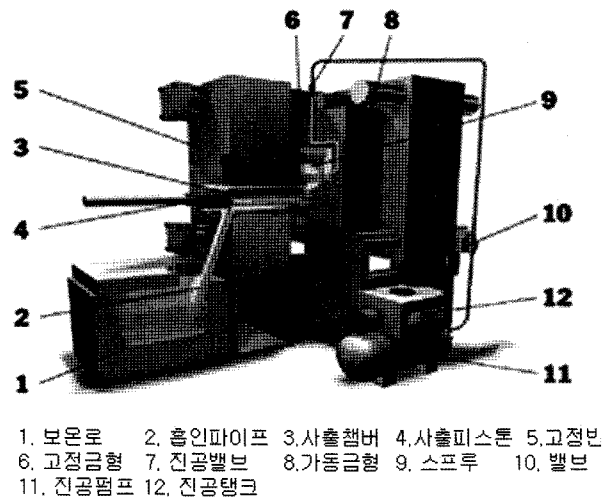


Fig. 1. Vacural 주조기.

#### 4.2. 무공성다이캐스팅법

무공성 다이캐스팅법, Pore Free Diecasting법은 주로 산소를 이용하므로 산소다이캐스팅법이라고도 한다. 용탕을 압입하기 전에 슬리브, 탕도 및 금형 공간 내를 활성가스(주로 산소)로 채우는데, 이 산소는 알루미늄합금과 반응하여 미세한 산화알루미늄의 고체화합으로써 기공을 없애는 방법으로, 활성가스 분위기 중에서 알루미늄을 분사하면 순간적으로 감압된 상태로 된다. 기공이 적은 치밀한 다이캐스팅을 얻을 수 있으므로 내압성이 우수하고 열처리 및 용접이 가능하다.

#### 4.3. 국부가압다이캐스팅

국부적으로 두꺼운 부위가 있는 다이캐스팅 주물에서는 통상의 방법으로는 가압경로 중간의 얇은 부위가 먼저 응고하여, 가압력이 전달되기 어렵게 된다. 따라서 이 두꺼운 부위에 수축결함이 나타나므로, 용탕 충전 완료 후에 이 부위에 별도로 설치한 플런저로 가압하여 응고수축을 최소화하는 방법이다. 직접 가압하므로 실린더가 밀은 체적만큼 응고수축분을 보급할 수 있으므로 수축공이 적은 고품질의 다이캐스팅을 얻을 수 있는데, 2단가압법이라고도 한다.

가압실린더는 통상 타이머와 변위계에 의하여 제어하는데, 진공 다이캐스팅법은 제품 내의 기공을 최소화할 수 있으나, 응고수축을 보상하지는 못하므로 두가지를 병용하여 사용하는 경우가 많다.

국부가압의 효과범위는 압입부를 중심으로 최대 반경 40 mm 정도이고, 가압력은 국부가압 핀에 가하는 압력은 최소 2,000 kgf/cm<sup>2</sup> 이상, 통상적으로는 3,000~6,000 kgf/cm<sup>2</sup> 정도이다. 가압개시시간은 국부가압 핀 스트로크의 85~95%의 가압깊이가 유지되도록 타이밍을 설정하는데, 통상적으로 1.5~3.0초의 범위에 있다.

#### 4.4. 종류충전다이캐스팅

보통다이캐스팅은 용탕이 좁은 탕구를 통하여 고속으로 분무상으로 충전되므로 제품내부에 많은 가스를 함유하게 되어 기공율이 높는데, 종류충전 다이캐스팅은 용탕을 천천히 종류상태로 고압으로 압입하므로, 가스의 혼입이 적고 수축결함도 적다.

종류충전법으로는 일반 다이캐스팅재질뿐만이 아니고 중력주조용 재질까지도 다이캐스팅이 가능하므로, 기존의 중력주조제품을 다이캐스팅화하여 생산성을 향상시키는 경우도 있다.

종류충전법에는 수십년전부터 다양한 방법이 각 메이커마다 실행되고 있으며, 이중플런저를 사용하는 Acurad법, 저속-고속변환을 비례제어하여 가스혼입을 최소화하는 Parashot법 등이 있다.

종류충전법으로 제조한 다이캐스팅은 열처리가 가능하므로 강도 및 연신율이 보통다이캐스팅법보다 많이 향상됨을 알 수 있고, 또한 수축결함도 동시에 제거가 가능하다

ACURAD법은 1966년 미국의 GM사가 개발한 것으로 accurate(정밀), rapid(신속)한 한편 dense(정밀)한 주물을 얻을 수 있는 방법이라는 뜻이 그 이름에 내포되어 있다. 종래의 다이캐스팅법과는 달리 두꺼운 탕구를 써서 주물의 두꺼운 부분으로부터 낮은 압력으로 용탕을 주형공간 안으로 조용히 주입하여, 전진하는 용탕의 앞쪽에 있는공기, 가스류를 주형공간으로부터 배제하면서 용탕을 주형공간에 채운다. 그 다음에 내부 플런저를 작동시켜 주물내부의 응고수축에 대한 용탕을 보급시키는 방법이다. 애큐래드법의 특징은 (1)두꺼운 탕구, (2)용탕의 사출속도를 느리게 한다, (3)2단 사출플런저를 사용한다, (4)급형냉각의 조절 등이다.

Parashot법은 보통 다이캐스팅법에서는 사출속도를 저속-고속의 2구간으로 하므로 이를 보완하기 위하여 일정비율로 저속-고속변환을 비례제어하여 가스혼입을 최소화하는 방법으로, 종래의 기계에서는 밸브의 제어가 ON-OFF제어이므로 시시각각으로 변하는 용탕사출 중의 충전저항에 대응하지 못하고 저속,고속의 2단계어만 가능하므로 사출 중 플런저의 속도가 급격히 변화하여 슬리브내에서 이미 상당량의 가스를 혼입하게 된다. 유압서보제어에 의한 멀티인젝션사출기구에 의하여 다이캐스팅 사출공정 전 영역에서 다단계어가 가능(저속,고속사출)한데, 이 기구는 고응답, 대유량의 유압서보밸브를 사용하여 밸

브의 열립정도를 미세하게 제어하므로 등가속에 의한 저속사출 및 감속에 의한 충전완료 직전의 서보 제어가 가능하게 되는 것이다.

#### 4.5. 핫슬리브법

다이캐스팅 공법의 주요 결함인 파단칠층의 원인은 황형주입의 경우 낮은 슬리브 충전율로 인한 사출 슬리브 내에서의 표면응고층이 사출 시 금형 공간안으로 들어가서 생기는 것으로, 슬리브 내의 응고 층을 최소화하여 파단칠층에 의한 결함의 방지가 가능한 방법으로 다음의 핫슬리브법, 세라믹슬리브법 및 분체유회제법이 있다.

핫슬리브법은 슬리브를 가열하여 응고를 지연시키는 방법으로 슬리브에 가열라인을 설치하여 가열된 오일을 순환시켜서 슬리브의 온도를 높게 유지함으로써 슬리브 내에서의 응고를 지연시키는 방법이다.

세라믹슬리브법은 열전도도가 나쁜 세라믹 슬리브를 사용하는 방법으로 슬리브 내의 온도를 일정한 이상으로 유지하는 방법으로, 열전도도가 나쁜 세라믹슬리브를 사용하는 방법으로 사출 시의 충격으로 세라믹슬리브의 파손이 우려되므로 용탕과 접촉하는 내부에는 세라믹슬리브(또는 세라믹-금속 복합재료)를, 외부에는 특수합금강으로 제작한 슬리브를 사용하는 경우와 그 반대로 외부에는 단열재를 내부에는 특수합금제 슬리브를 사용하는 경우가 있다.

분체유회제법은 플러저팁 유회제로 분체를 사용하여 보온하는 방법으로, 플러저팁 유회제로 수용성유회제 또는 유성유회제 대신에 분체를 사용하여 보온하는 방법으로 슬리브에만 분체 유회제를 단독으로 사용하는 경우와 분체이형제와 일체로 사용하는 경우가 있다.

#### 4.6. 분체이형제법

다이캐스팅 공정에서는 매 쇼트마다 금형에는 이형제를, 슬리브에는 유회제를 도포한다. 그러나 이형제는 물을 섞어 사용하고 압축공기를 사용하므로 미스트의 발생이 많아서 공장환경 오염의 주원인이 되며 다량의 폐수처리가 문제가 된다. 또한 슬리브유회제도 유성이므로 용탕의 열로 가열된 슬리브에 닿으면 오일미스트가 발생하게 된다.

이와 같이 다이캐스팅 공장 환경오염의 주원인은 이형제로 현재는 수용성이형제가 많이 사용되고 있으나, 이형제를 분말로 대체하면 환경 개선 효과가 크게 된다.

분체이형제는 크게 두가지로 나누어지는데, 하나는 금형을 포함한 사출계 전체를 쉘링하여 슬리브의 용탕주입구에서 분체이형제를 넣으면 금형까지 분말이형제가 도포되는 폐쇄형(Fig. 2)과 또 하나는 종래의 이형제 스프레이방법과 거의 동일하나 이형제에 물을 쓰지 않고 분말을 사용하는 개방형이 있다.

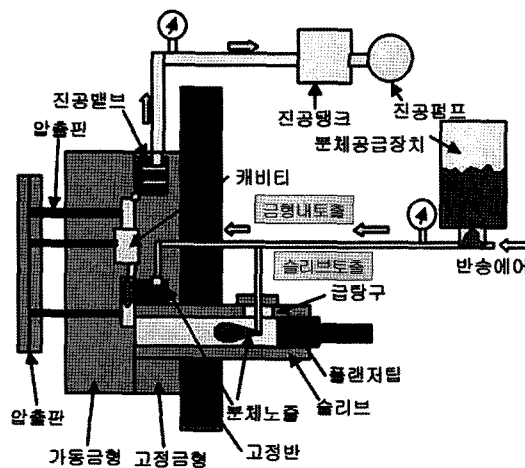


Fig. 2. 분체이형제 시스템.

#### 4.7. 붕괴성 중자법

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

중자는 전부 1회용으로 생산성, 가격 면을 고려할 때 유망한 것이 모래 중자, 플라스틱 중자 및 염중자이다. 언더커팅성형이 가능한 사형, 금형, 저압주조등의 다른 공법에 비하여 치수정도, 주물표면의 평활도, 구멍성형의 용이성, 생산성 등의 점에서 우수하다.

다이캐스팅용 모래중자는 중자본체와 도형재로 구성이 되는데, 중자본체는 다이캐스팅 시의 고압력에 견딜 수 있는 강도를 가져야 하고, 도형재는 중자 표면의 요철 및 구멍을 메우기 위한 붕공능력과 고압력의 용탕과 용착하지 않아야 한다는 요구조건을 충족시켜야 한다.

다양한 모래중자 제조법 중에서 다이캐스팅용 중자로는 성형성, 생산성을 고려할 때 셸중자가 가장 유리하다. 셸중자의 기재로는 규사와 지르콘사가 주로 쓰인다.

다이캐스팅용 붕괴성 중자의 도형재의 요구성능은 두가지가 있는데 하나는 중자표면의 요철 및 구멍을 막기 위한 붕공능력이고, 또 하나는 고압력의 용탕과 늘어붙지 않고 미세한 부분의 용탕의 침투를 방지하여야 하는 것이다.

도형재의 구성은 도형골재와 점결제로 구성이 되는데, 도형골재로는 용융실리카분말, 지르콘사 분말, 알루미늄, 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.

주조 후의 시험편은 모래를 쳐서 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. 생산성, 가격면에서 유리하다.

염은 내열성과 성형성을 겸비하고 있으므로 주조용 중자로 적합한데, 염중자는 NaCl 또는 KCl등의 염에 MgO, Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, talc 등의 강화제 및 붕괴제를 첨가한 분말을 금형에 넣고, 성형압력 1,000 kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 압력에서 성형하고, 성형 후 700°C 정도의 온도에서 20분 이상 열처리하여 제조한다. 주조시 염중자에 용탕의 침투가 일어나지 않고 중자의 변형도 일어나지 않기 위해서는 염중자의 밀도를 가능하면 높게 하여야 한다.

플라스틱 중자는 통상의 사출성형으로 복잡형상의 제작이 용이하므로 이를 다이캐스팅에 적용하여 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.

이러한 조건을 가장 잘 만족시키는 재료가 폴리카보네이트(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.

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  $\mu\text{m}$  정도의 열변형 층만이 형성된다. 따라서 플라스틱의 열변형 온도보다도 용접이 높은 재료의 다이캐스팅용 중자재료로 사용이 가능하다.

#### 4.8. 스퀴즈캐스팅

가압 응고법이라고도 하며, 금형내의 용탕에 유압 프레스를 이용하여 기계적 고압력을 직접 가하거나 또는 별도로 설치된 정밀한 금형 공간 내로 용탕을 저속 충전 압입시킨 후 고압을 가하여 성형 응고시키는 제조법이다.

액상금속이 체적변화를 하는 응고과정에 고압력을 가하여 주조결함의 발생을 제어하고 내성 및 강도가 향상된 고품질의 주조제품을 얻는 방법이며 최고 수준의 주조품질을 얻을 수 있는 방법이다.

스퀴즈캐스팅법은 일본의 우베흥산과 토요타 자동차가 공동으로 개발하여, 1979년에 최초로 발표된 공법으로, 그 후 우베흥산에서 개발을 계속하여 종주입형 스퀴즈캐스팅기가 개발되어 보급되고 있다.

스퀴즈캐스팅법은 주조와 단조가 혼합된 방법이나, 기본적으로 주조조직 등이 일반 주조품에 가까우므로 주조공법으로 분류되며, 또한 기계의 형식 등이 다이캐스팅과 거의 유사하므로 신다이캐스팅법으로 분류된다.

스퀴즈캐스팅의 특징은 스퀴즈캐스팅법은 금형주조와 다이캐스팅, 그리고 단조법의 장점을 가지는 공법으로, 주조 재질이 다이캐스팅재질뿐만이 아니고 전신재나 금형주조재질의 주조도 가능한 장점이 있다. 저속(플러저속도 0.2 m/sec 정도)으로 충전하므로 충류충전이 가능하며, 공기의 혼입이 적고, 또한 고압력을 가하므로 조직을 미세화하고, 수축공의 발생을 억제하기 때문에 T6 열처리 및 용접이 가능하여 고품질다이캐스팅을 얻을 수 있다.

스퀴즈캐스팅의 종류에는 가압방법에 따라서 플러저가압법, 직접압입법, 간접압입법 등이 있다. 직접압입법은 펀치로 직접 가압하므로 장치가 간단하나, 대량생산에는 부적합하고, 간접압입법은 상하형 금형을 사용하고, 펀치로 가압하는 방식이며, 플러저가압법은 기존의 다이캐스팅 정도의 양산이 가능하므로 널리 쓰이는 방식이다.

주입방식은 횡주입과 종주입법이 있는데, 종주입의 경우가 주입 중 가스의 혼입이 적고, 파단칠층의 발생이 감소한다. 종주입의 경우는 슬리브가 충전되므로 가스의 혼입이 적고 슬리브 내의 용탕온도유지가 잘되어 파단칠층의 발생도 거의 없는데, 저속주입하므로 탕구가 두껍고, 주조 후 탕구절단은 주로 톱으로 절단하여야 하므로 시간 및 비용이 소요된다.

스퀴즈 캐스팅법은 두꺼운 제품의 고강도, 고기밀성을 위한 주조방법으로 자동차용 알루미늄 휠의 제조에 최초로 이용되었으며, 내압부품, 고강도가 요구되는 부품(기존의 주철부품의 대체), FRM(Fiber Reinforced Metal) 사용부품, 인서트 사용부품제품의 제조에 쓰이고 있다.

스퀴즈캐스팅의 사용합금은 일반 다이캐스팅처럼 단일금속만 사용할 수도 있고, 이종금속의 인서트도 가능하지만, 보다 고강도, 내마모성이 요구되는 부품을 위한 세라믹, 카본 등이 혼합된 복합재료의 제조도 가능한 장점이 있는데, 세라믹, 카본 등을 강화재로 하고 그것들의 예비성형체(프리폼)를 만든 후 예비성형체의 공간 사이로 금속을 스퀴즈캐스팅법에 의하여 고압력을 가하여 침투시키면 고강도, 고내마모성의 복합재를 얻을 수 있다.

#### 4.9. 반고상주조법

기존 다이캐스팅은 주입금속을 완전 용융상태에서 주입하므로 주형 충전성은 좋으나, 가스 및 수축결함의 발생이 많은데, 이를 개선하기 위하여 고체와 액체가 공존하는 상태(40~60%고체)에서 합금을

다이캐스팅하는 방법이다.

수축결합 발생이 적고 금형수명이 길며, 결정립이 균일해 지는 등의 특징이 있고, 품질이 안정된 다이캐스팅을 얻을 수 있는데, 주입금속의 처리방법이 기존의 다이캐스팅과는 다르지만, 기계는 동일한 기계의 사용이 가능하다.

1970년대에 처음으로 제안된 방법으로 주입온도가 통상의 방법보다 100°C 정도 낮고, 사출속도가 낮으므로 주입 중 가스의 혼입이 없으며, 주입 시 이미 고상율이 60%를 넘으므로 수축공 결함이 적은 장점이 있어서, 주로 강도 및 내기밀성이 요구되는 자동차 부품(Fuel injection distributor, support bracket, brake master cylinder 등)의 생산에 적용되고 있다.

재료는 A356합금이 주로 쓰이고 있는데 반고상주조를 하기 위해서는 적절한 응고구간을 가진 합금이 요구되며, 주철도 반고상주조가 가능하다.

반고상주조법은 반고상다이캐스팅, 반응용다이캐스팅, 칩소몰딩의 세가지로 분류하는데, 액체로부터 고액공존상태로 하여 주조하는 반고상다이캐스팅, 고체로부터 고액공존상태로 하는 경우를 반응용다이캐스팅이라 한다. 또한 주입하는 합금을 쌀알크기 정도의 칩으로 하여 플라스틱사출성형과 유사하게 하는 방법을 칩소몰딩이라 한다.

반응용주조법(칩소캐스팅)은 용탕을 결정립 미세화제 투입 또는 전자교반하면서 응고시켜 발달하는 수지상정을 절단하여 입상의 조직으로 연속주조하여 빌렛을 제조하는 방법으로, 빌렛을 주입중량만큼 절단하고, 로터리식의 유도가열장치에서 가열하여 반응용슬러리를 제조하고, 전용 로봇으로 주조기에 주입한다. 반응용슬러리의 대량제조가 가능한 반면 일단 고체로 만든 후 다시 가열하므로 에너지 비용이 많이 들어간다. 반응용슬러리의 제조는 연속주조에 의하여 빌렛을 만든 후 이를 절단하여 재가열하여 만드는 방법이 주로 이용되나, 보다 구형의 유동성이 좋은 결정립을 가진 슬러리를 제조하기 위한 방법도 실용화되고 있다. 즉 스텐레스제 컵에 1쇼트분의 용탕을 주입한 후 결정립미세화제를 쓰거나 전자교반하여 결정립을 미세하고 균일하게 하여 응고시킨 후, 이를 재가열하여 주입하는 방법도 있다.

반응고주조법(레오캐스팅)은 액상금속이 온도가 강하하면서 응고하게 되는데, 고상율이 50% 부근에 이를 때 주조하는 방법이다. 유동성이 좋은 구상의 결정립을 만들어야 하므로 용탕의 결정립 미세화처리와 온도의 제어가 매우 중요하다.

주입방식은 크게 두가지 방식이 있다.

- 용탕을 전부 녹인 후 전자교반, 결정립미세화제를 투입하고 고상율을 조절하고, 로에서 1회 쇼트분을 레들로 퍼서 주입

- 1회 쇼트분의 용탕만을 용기에 주입하고 전자교반, 결정립미세화 처리 후 주입(고상율 제어를 위하여 용기에 들은 채로 고주파 가열하는 경우도 있다)

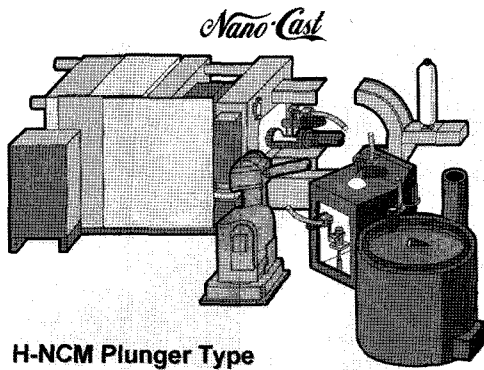
반응용주조와 반응고주조의 제조 원가 및 품질등을 비교해 보면 반응용주조가 재가열 비용이 들어가므로 원가가 비싸고, 리사이클이 어려운 단점이 있으나, 온도제어가 용이하다는 장점을 가지고 있다.

최근 반고상주조법의 한 종류로 나노캐스팅법(Fig. 3)이 보급이 되고 있는데, 기존의 반고상주조 공법보다 미세한 조직을 얻을 수 있는 공법으로, 초정미 미세하므로 내부와 외부의 조직 차이가 적은 장점이 있다. 나노캐스팅은 용탕을 전자교반으로 반응고슬러리를 만들고(이과정에서 핵생성밀도를 증가시켜(약 15배 정도) 결정립을 미세화시킨다), 핵생성밀도를 증가시키면 주탕온도와 주조 후 냉각속도의 관련 면에서 이점이 있고, 주조사이클의 단축이 가능해지는 장점이 있다.

칩소몰딩(Thixomolding)법은 반응용주조법의 일종(Fig. 4)인데, 주입재질의 형상이 원통형이 아니고 칩형태라는 것이 다른 점이다. 칩소몰딩은 실린더의 온도설정을 변화시켜서 사출 시 합금을 완전히 녹인 상태에서 수십 %의 비율로 고상을 혼재시킨 반응용상태까지 폭넓게 제어가 가능한 장점이 있다. 주로 마그네슘합금에 적용하고 있는데, 경쟁공법은 플라스틱 사출성형과 다이캐스팅공법이다. 적용제품도 노트북케이스, 휴대폰 케이스 등 경량박육의 전자기기부품의 제조에 주로 적용이 되고 있다.

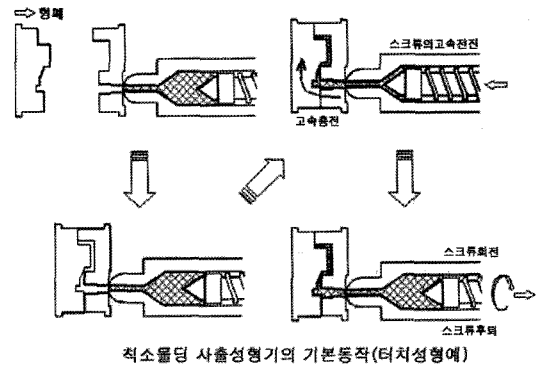
장입재의 용해를 외부가열된 실린더와 스크류에 의하여 행하므로 매 쇼트 일정량의 합금원료를 실린





H-NCM Plunger Type

Fig. 3. 나노캐스팅기의 개요.



최소몰딩 사출성형기의 기본동작(터치성형예)

Fig. 4. 최소몰딩 공정.

더 내에 공급하여 용해한다. 따라서 최소한의 용탕만 유지하면 되는데, 특히 마그네슘합금은 발화 또는 폭발의 우려가 있는 활성금속이므로 안전 상 소량용해하는 것이 유리하다. 최소몰딩기는 플라스틱 사출성형기와 유사하나, 성형온도가 높고, 사출속도는 빠르지만 사출압력은 낮다. 또 다른 차이점은 마그네슘합금은 사출 후 수 ms ~ 수십ms의 짧은 시간내에 응고하여 유동이 정지되므로, 스크류의 사출속도가 플라스틱사출보다 약 10배 정도 빠르다는 것이다. 이러한 고속사출에 대응하기 위하여 최소몰딩기에는 대용량의 어큐레이터와 전용유압회로가 설치되어 있다.

#### 4.10. 벌크비정질합금의 다이캐스팅

통상의 금속을 매우 빠른 냉각속도로( $10^5\text{ }^\circ\text{C/sec}$ ) 냉각하면 규칙적인 결정질의 구조가 나타나지 않고 유리나 같은 비정질 구조를 나타낸다. 금속이 비정질구조를 가지게 되면, 기계적성질의 대폭적인 향상, 자기적성질의 향상 등 기존의 결정질 상태보다 훨씬 좋은 특성을 나타낸다. 일반적인 다이캐스팅의 냉각속도는  $10^{30}\text{ }^\circ\text{C/sec}$ 정도이므로 기존의 금속을 다이캐스팅하여도 비정질상태를 얻을 수 없었다. 즉 종래에는 급냉, 진착, 증착, 스퍼터링 등의 방법으로 얇고 작은 것만이 가능하였으나, 근자에  $10^{20}\text{ }^\circ\text{C/sec}$ 의 냉각속도에서도 비정질을 얻을 수 있는 신금속이 개발되어 최근에는 50 mm 정도의 두꺼운 것도 비정질화 가능해졌고, 다이캐스팅공법의 양산성을 살리면서 특성이 우수한 부품의 생산이 가능하게 되었다.

비정질합금(Amorphous alloy)은 원자가 규칙적으로 배열하지 않은 상태, 즉 물질을 구성하는 원자의 배치가 결정과 같은 장주기규칙성을 가지고 있지 않은 합금으로, 유리금속, 무정형, 비결정일고도 한다. 통상의 금속과 비교하여 원자배열이 불규칙하고, 입계 및 전위가 없으므로 등방적이고, 균질한 성질을 갖는데, 인성 및 내식성이 우수하다.

벌크비정질합금의 다이캐스팅의 개요는 다음과 같다. 벌크비정질합금은 소량의 산소와 접촉하여도 산화되므로 대기 중에서 용해가 불가능하므로 진공 고주파유도용해로에 용해하여야 한다. 또한 1회 1소

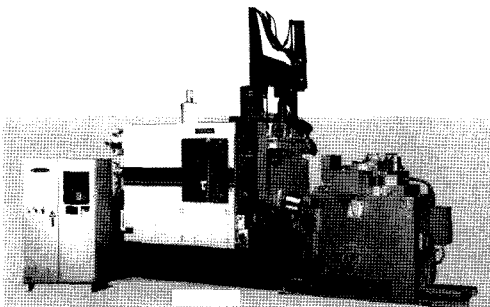


Fig. 5. New Leomacs 주조기.

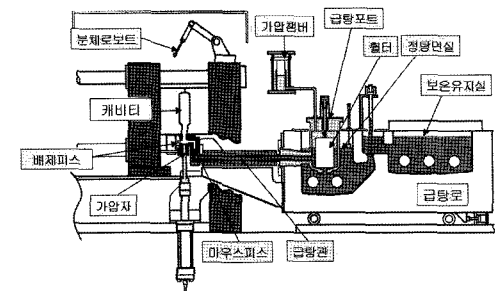


Fig. 6. NI 주조기 .

트 분의 용해만이 가능하다. 벌크비정질금속은 점도가 매우 높으므로 기존의 다이캐스팅합금처럼 용해로에서 다량 용해 후 레들로 떠서 플런저에 주입하는 것은 거의 불가능하므로, 벌크비정질합금을 봉상으로 만든 후 이를 원하는 크기로 절단하여 용해한다.

금형은 기존의 내열공구강으로 제작한다. 벌크비정질금속의 용탕은 점도가 높고, 제품이 얇으므로 가능한 단시간 내에 산소와의 접촉이 없이 충전완료 되도록 주조하여야 하므로, 다이캐스팅 용해에서부터 주조까지 전체가 진공용기 안에서 작업하여야 하고, 제품 취출 시에는 진공을 해제한 후 제품을 꺼내게 되므로 기존의 다이캐스팅공법보다는 사이클타임이 길어진다. 벌크비정질합금의 다이캐스팅 제품은 기계적강도가 우수하고, 내식성등이 뛰어나나 원재료의 가격이 고가이며, 재활용이 쉽지 않은 단점이 있다.

## 5. 전 망

기존의 다이캐스팅법의 약점을 보완한 다양한 신 공법이 개발 실용화되고 있는데, 이러한 공법은 한 가지만 사용되는 것이 아니고 결합을 최소화한 다이캐스팅제품을 제조하기 위하여 다수의 공정을 복합화하여 사용하는 추세에 있다.

예를 들면 일본 히타치금속에서 개발한 Hi-Vac공법은 VACURAL 시스템, 보온로에의 자동용탕공급 시스템, 건식팁유회, 유성이형제 도포시스템, 고진공대응 실(seal) 금형, 금형온도 자동조절장치로 구성되어 저 Fe 함유 고인성 다이캐스팅용합금을 제조하고 있다.

또한 일본 토시바기계에서 New-Leomacs공법(Fig. 5)은 횡형체결, 중형주입 다이캐스팅기와 전자펌프 급탕시스템, 플로트식 정탕면유지로, 분체이형제와 분체슬리브유회제 공급시스템으로 구성되어 고강도, 고인성 다이캐스팅제품을 생산하고 있으며, NI주조법(Fig. 6)은 일본 아레스티사에서 개발한 공법으로, 고강도, 고연성, 고신뢰성의 알루미늄 부품의 제조가 가능한 공법으로 횡형체결, 중형주입 다이캐스팅기와 인라인 용탕처리 장치 및 정탕면유지로, 급탕포트(3차원 휠터 설치) 및 가압챔버, 그리고 분체이형제 균일도포 시스템으로 구성되어 있어서, 다이캐스팅의 고생산성을 살리면서 고강도, 고연성의 A356 합금의 주조 가능하다.

이러한 방법을 활용하면 종래 주철로 제조해왔던 부품의 자동차용 주철부품의 알루미늄화가 가능해지고, 기존의 중력주조 또는 저압주조로 제조하여 왔던 부품의 다이캐스팅화가 가능해지면서 원가절감, 고성능화의 기대를 충족시킬 것으로 보인다.