

금속 분말 사출성형 기술 현황

김성완 · 도노쯔가*

한국생산기술연구원 수석연구원

*동우열처리 부사장

Actual Status of Metal Injection Molding Technology

S. W. Kim and Donotzuka*

Korea Institute of Industrial Technology

Dong-Woo Heat Treating Co.

1. 서 론

제 5세대 금속가공법이라고 불리는 금속분말 사출성형법(MIM : Metal Injection Molding)은 고밀도, 고정밀도 부품의 대량 생산기술로 복잡한 3차원 형상 부품의 양산이 가능한 방법으로 최근 크게 주목을 받고 있다.

MIM은 다량의 바인더를 첨가하여 분말의 유동성과 성형성 높혀 플라스틱과 같이 금속분말의 사출성형이

졌다. 신기술로 알려진 MIM 기술은 80년대 들어서 공업화하여 박차를 가해졌으며, 최근에는 자동차 부품에도 적용되는 등 점차 그 범위가 확대되고 있다.

2. MIM의 특징

그림 1에 MIM과 종래의 가공법과의 비교하여 장단점을 나타내었다.

2.1. 3차원 복잡 형상품의 양산

통상의 분말 야금은 성형시 5~7ton/cm²의 고압축이 필요하므로 금형의 강도적인 문제와 분말 성형체의 충전밀도의 산포가 커서 제품의 형상에 제한을 받게 되어 원판형의 제품에 한정적으로 응용된다.

그러나 MIM은 사출성형에 의한 성형법이므로 성형시

표 1. MIM의 역사

1919년	독일에서 원리에 대한 연구 발표.
1920년대	미국에서 세라믹의 사출성형 개발 개시.
1940년대	간단한 세라믹의 사출성형 일부 양산 개시.
1950년대	일본에서 자동차용 플러그 적용시험, 단 실용화는 실패
1970년대	세라믹제 내열엔진부품 터보팬의 양산화 개시, NASA의 로켓의 고체연료용 부품 제조.
1972년대	미국에서 WITEC(MIM) 프로세스 시판 개시.
1980년대	미국 MIM 적용개시, 일본에서도 미국으로부터 기술 도입 또는 자체 개발에 의한 제조 개시.

가능하다. 성형을 용이하게 하기 위해 첨가된 바인더를 후 공정에서 제거하여야 되는데 어떻게 기술적으로 경제적으로 제거하는가가 MIM 기술의 핵심이다.

여기서는 MIM의 개요를 살펴보고 바인더 제거를 위한 새로운 소결로에 대해서 소개하고자 한다.

우선 MIM의 역사를 간단히 살펴보면 표 1과 같다.

위의 표에서 알 수 있는 바와 같이 세라믹의 사출성형기술은 비교적 빨리 개시되었으나 금속에 대해서는 1972년에 와서 WITEC법(발명자의 이름을 딴 공정)이 특허의 판매를 시작하므로 비로서 실용화가 이루어

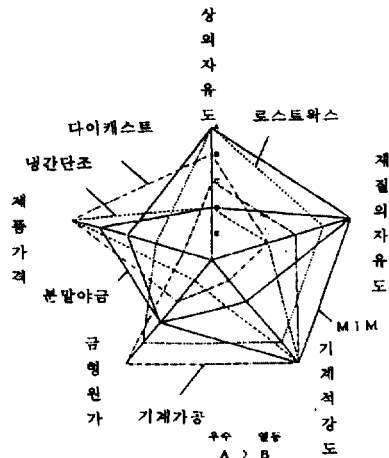


그림 1. MIM과 종래의 탈지법과의 우위성 비교.

형상에 대한 자유도가 대단히 크다. 이는 플라스틱 사출성형품이나 다이캐스트품과 마찬가지로 복잡한 형상을 금속 분말로 만들 수 있다는 말이 된다.

또한 양산성은 사출성형이므로 기계가공법에 비해 대단히 좋다.

2.2. 고밀도

분말야금 제품의 경우 일반적으로 소결밀도가 이론밀도의 83~87%의 수준이다. 그러나 MIM에 있어서는 소결에 의해 95%의 소결밀도가 쉽게 얻어진다. 그 이유로서는 표면 에너지가 큰 소결성이 좋은 미세한 분말을 사용하게 되기 때문이다. 또, 사출성형법이므로 충전밀도나 잔류응력이 비교적 균일하여 큰 소결 압축에 대해서도 형상을 쉽게 유지 할 수 있어 변형이 적은 특징이 있다.

2.3. 치수 정도

플라스틱의 사출성형이나 다이캐스트, 주조, 단조 등은 금형정도가 치수정도를 지배하게 된다. 이에 비해 MIM은 자유표면에서의 소결이므로 정도를 내는 데는 불리하다고 할 수 있다. 또, 소결시에는 30~40%의 체적 수축을 가져오게 되므로 치수정도의 유지는 기술적으로 가장 중요한 사항이다.

그러나 공정 중의 각 관리항목을 잘 관리, 제어하면 상당한 정도를 낼 수가 있고 재료나 형상에 따라서는 0.3%이하의 정도도 가능하다.

또, 종래의 방법과 마찬가지로 후가공을 추가하여 정도를 높이는 경우, MIM부품은 그 밀도이면서 연성이 좋아서 상당한 가공도 가능하여 정밀제품에도 적용가능하다.

2.4. 재료의 다양성

용융법으로는 가공이 불가능한 재료도 MIM으로는 분말상태에서 혼합성형하므로 제조 가능하다.

3. 일반적인 제조 공정

MIM제품의 일반적인 제조공정을 그림 2에 나타냈다.

3.1. 금속 분말

원료인 금속 분말은 사출성형시의 유동성과 성형성 향상을 위해 구형의 미세 분말이 바람직하다. 또, 제품의 치수 정도를 높이기 위해서는 치밀한 미세 분말이 좋다. 그러나 탈 바인더 시간과의 관계도 고려해야 하고 금속분의 종류에도 달라지나 일반적으로는 10 μm 전후의 입도 분포가 성형시의 충전밀도를 높이고 제품의 치수 정도를 좋게한다.

금속의 종류는 니켈, 철, 스텐레스, 고속도강, 티탄, 코발트계 합금, 규소강, 초합금강, 니켈계 자성재료 등

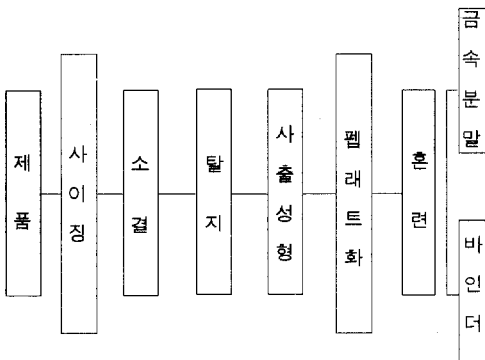
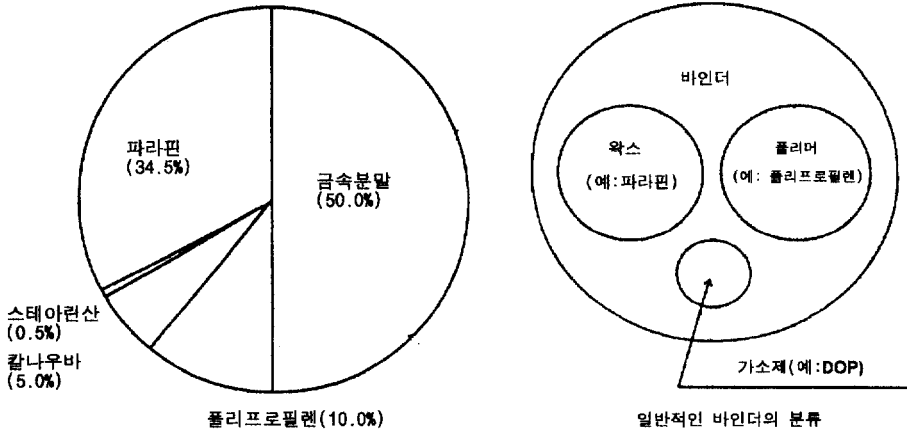


그림 2. MIM의 일반적인 제조 공정.

그림 3. 아토타이즈 분말의 형상 비교.

표 2. MIM성형체의 조성과 바인더의 분류



모두가 사용 가능하다.

MIM용 재료로서는 주로 가스 아تما이즈된 분말로 구형이어서 성형성과 유동성이 우수하다.(그림 3)

3.2. 바인더

실제에는 금속 분말만으로는 유동성이 나빠서 사출성형이 안되므로 열가소성 수지를 첨가하고 가열 혼련(混練)하여 콤팩운드를 만든다.

이에 바인더로서 요구되는 성질로서는

- ① 소량으로 사출성형성
- ② 금형으로부터의 이형성
- ③ 성형품(그린체)의 형상유지강도
- ④ 금속분말에 대해 화학적으로 불활성
- ⑤ 탈 바인더성을 가져야 한다.

이상의 특성을 모두 갖춘 이상적인 바인더는 각각의

특성을 나타내는 여러종류의 수지, 왁스 등을 조합하여 사용하고 있다. 일반적으로 사용되고 있는 유기 바인더로서는 소량의 윤활제와 파라핀 왁스, 폴리머의 혼합물이다.(표 2)

3.3. 혼련(混練), 조립(造粒) (콤팩운드화)

금속분말과 바인더를 가열하면서 혼련한다. 혼련 작업은 바인더의 용점보다 통상 10~20°C 높은 온도내에서 가압하면서 한다.

3.4. 사출성형

성형기는 플라스틱의 사출성형에 사용되는 것과 거의 동일하나 금속분말에 의한 마모를 고려 실린더나 흡퍼를 개량하여 사용한다. 사용시는 콤팩운드를 흡퍼에 공급하고 가열용융하면서 스크류로서 교반, 전진시켜 실린더로서 가압한다.

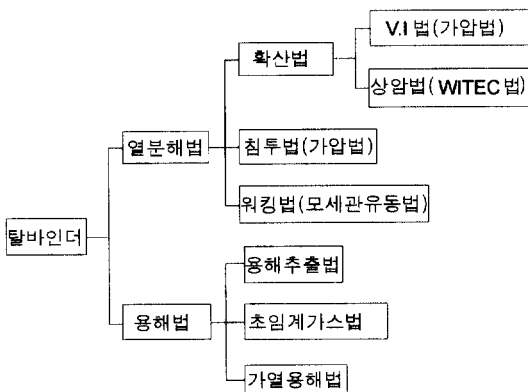
가압된 용융 콤팩운드는 노즐로부터 금형내로 사출되어 복잡한 형상의 부품이 성형된다. 한 사이클은 30초에서 2분 정도에 종료된다. 이 성형체를 그린체라고 한다.

3.5. 탈지(탈 바인더)

탈지 공정은 소결 전에 사출은 용이하게 위해 이용된 바인더를 제거하는 공정이다. 이 공정은 MIM중에서 가장 시간이 많이 걸리므로 생산성을 좌우한다.

방법으로서는 크게 나누어 가열하여 탈지시키는 열분해법과 용제에 녹여 내는 용해법이 있으나 그 중에 현재 공업적으로 사용되는 것으로는 확산법과 용매

표 3. MIM성형체의 조성과 바인더의 분류



추출법이 주류를 이루고 있다 (표 3).

각각의 방법에는 이 MIM의 특허가 걸려있으며 거의 모든 회사가 그 중 어느 것인가의 특허를 공여받아 생산하고 있다.

MIM의 기본특허를 개발한 WITEC PROCESS(가열 탈지법)는 대기중에서 천천히 가열하여 유기 바인더를 증발 분해시켜서 제거하는 방법이다. 중요한 것은 용점이 다른 여러 종류의 바인더가 급격히 기화 또는 분해되지 않도록 승온 속도, 유지시간 등을 제어해야 한다. 제어가 부적절하면 변형, 부푸름, 균열 등의 결함이 발생한다. 가열에 의한 탈지법은 통상 24~120시간의 장시간이 걸리는 결점이 있다.

용매 추출법은 저용점 바인더를 용제에 의해 추출시키고 고용점 바인더를 가열에 의해 분해 제거시키는 방법으로 탈지시간이 가열 탈지법에 비해 단축되는 장점이 있으나 용제로서 할로겐화물을 사용하는 경우가 많으므로 안전 및 환경적인 문제가 있다.

이 용매추출법은 AMAX법이나 PARMATEX법으로 실용화되어 있다.

유럽에서는 바인더에 폴리아세탈을 사용하여 산의 증기로 탈지시키는 BASF법이 개발되어 사용되고 있는데, 이것도 용매추출법의 한 종류이다.

위의 방법들은 왁스를 제거한 후 소결로 또는 분위기 중에서 소결을 하게 되는데 왁스가 제거된 깨지기 쉬운 브라운체를(탈지된 부품을 브라운체라고 한다) 취급하는데에 파손 등의 주의를 요한다.

3.6. 소결

잔류 바인더의 제거 후 소결공정에서는 상호확산,

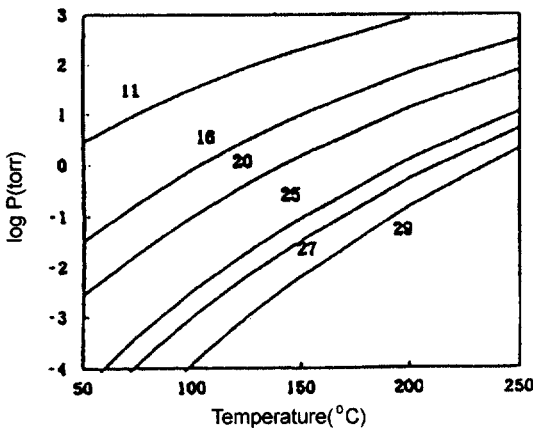


그림 4. 각종 파라핀 왁스의 증기압.

수축 등의 소결작용이 이루어진다. 진공 중 또는 분위기 중(불활성, 환원성)에서 처리한다.

소결에 의한 선 수축율은 15~25%정도이며 금속분말의 종류, 입도, 바인더의 종류에 따라 달라진다. 방향성은 균등 수축이 되나 형상이나 놓는 방법에 따라 약간 달라질 수 있다. 경우에 따라서는 분말 위에 놓고 소결을 하기도 한다.

소결된 부품을 실베체라고 한다.

3.7. 후기공

일반적으로 MIM만으로 최종 치수를 얻는 것을 목표

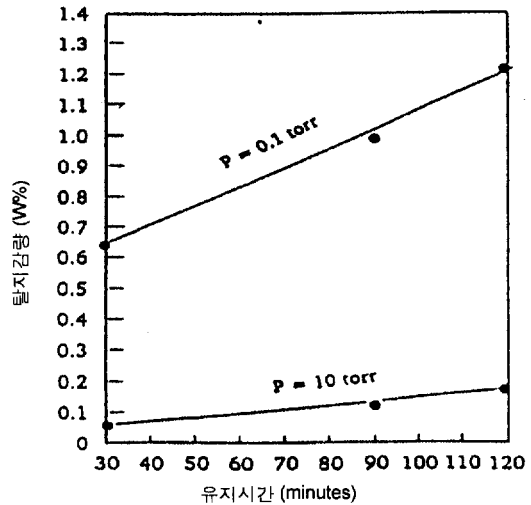


그림 5. 탈지율에 미치는 진공도의 영향 (at 110°C).

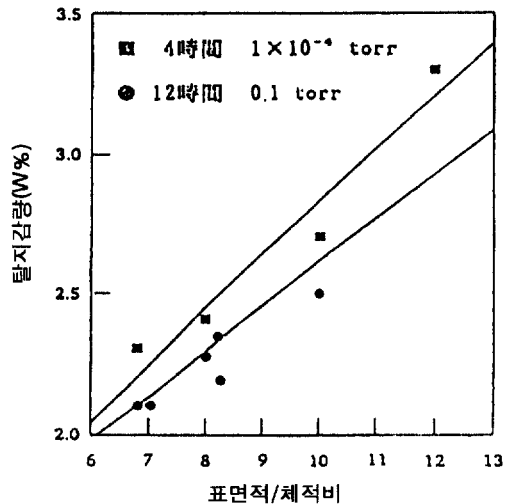


그림 6. 탈지율에 미치는 S/V비의 영향과 진공도의 효과 (at 110°C).

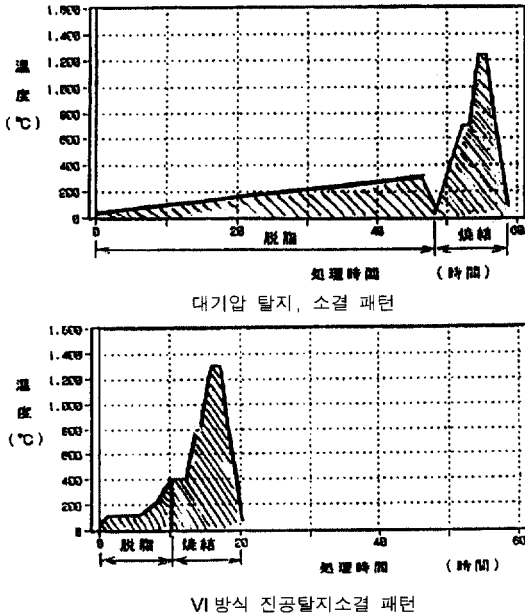


그림 7. 탈지 소결시간의 비교.

로 하고 있으나 치수 정도가 까다로운 경우에는 후가공을 하는 수도 있다. 대량 생산품의 경우 치수 조정을 하기 위해서는 금형 등을 이용하여 사이징 공정을 추가한다. 또, 탬핑, 열처리, 도금을 하기도 한다.

4. 진공 탈지법의 소개

MIM공정의 가장 문제점은 중의 하나는 탈지에 장시간이 소요되어 실용화가 지연되었다. 여기서는 이 문제점을 해결하기 위해 개발된 진공탈지기술 대해 소개하고자 한다.

진공탈지는 먼저 고진공하에서 파라핀을 제거하고, 다시 감압하에서의 스위프가스에 의한 탈 폴리머를 실시하여 탈지 시간을 대폭적으로 단축시킬 수 있어 생산성을 높일 수 있는 특징이 있다.

그림 4에 나타난 각종 파라핀의 증기압 곡선으로부터 고진공이 될수록 저온에서 증발하고 10^{-4} torr이하에서는 C-29까지의 모든 파라핀이 110°C 에서 증발하는 것을 알 수 있다. 고진공 일 수록 낮은 온도에서 쉽게 증발된다는 원리를 이용한 것이 진공탈지법을 개발하게 된 기초가 되었다.

그림 5에서 나타난 바와 같이 탈 파라핀시의 압력 10torr와 0.1torr의 테스트 결과로부터 보다 낮은 압력

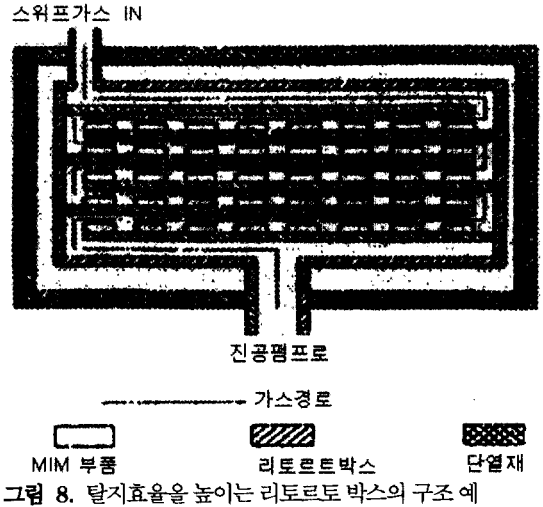


그림 8. 탈지효율을 높이는 리토르트 박스의 구조 예

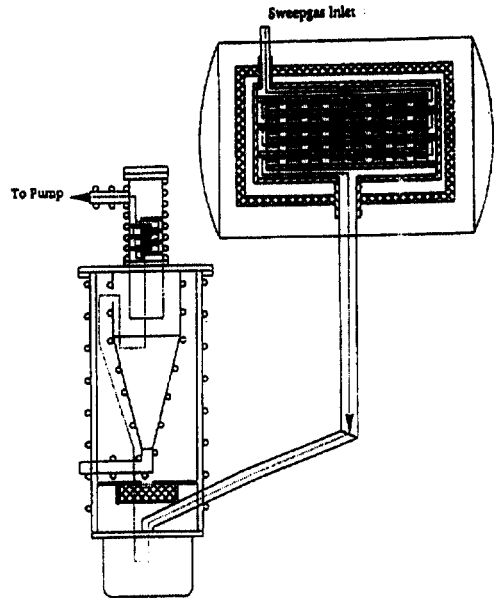


그림 9. 진공로 + 왁스 컨테이너의 개략도.

쪽이 탈 파라핀 비율이 큰 값을 나타낸다.

탈지 시간은 $S(\text{표면적})/V(\text{체적})$ 값과도 관계가 있으며 살 두께가 얇을수록 탈지시간은 짧아진다.(그림 6)

또, 그림7에 나타난 바와 같이 10^{-4} torr의 고진공 하에서는 탈 파라핀 시간이 1/3정도로 단축되는 것을 확실히 알 수 있다.

탈 파라핀은 그린체를 파라핀의 열분해가 일어나지 않는 저온도에서, 또한 증기압 곡선보다 낮은 압력에서 유지할 필요가 있다. 이 때에 가스화 된 파라핀 분자는

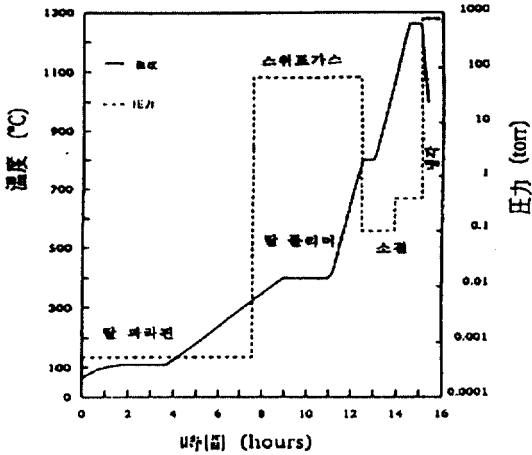


그림 10. 진공탈지소결법의 온도, 압력 차트

그린체의 빈공간(Open pore)사이를 날라서 그린체 표면에 도달한 후 로내로 확산되어 진공 배기 장치에 포집된다.

탈 폴리머는 탈 파라핀 공정 후 연속하여 보다 높은 온도에서 시행하던가 파라핀과는 달리 열분해 또는 폴리머의 연결고리를 끊어 저분자화하여 증발시켜 다량의 가스를 발생시킨다. 이 폴리머 가스를 신속히 제거하기 위해 스윙프 가스를 도입한다. 스윙프 가스는 부품 표면을 균일하게 스치고 지나 갈 수 있도록 흘러줄 필요가 있다. 스윙프 가스의 량과 그 때의 로내 압력은 중요하다. 스윙프 가스가 난류가 되면 그곳에서 폴리머 가스가 체류하게 되어 그에 따른 부품의 탄소 함유량을 증가시킬 위험이 있다. 그림 8에 효과적으로 스윙프 가스를 도입하기 위해 고안된 리토르트 박

스의 개략도를 나타냈다.

또, 그림 9에는 진공로에서 뽑아낸 왁스를 진공 펌프로 가는 도중에 포집하기 위한 콘덴서의 개략도를 나타냈다.

이와 같이 하여 탈 바인더를 완료시킨 후 연속하여 진공 소결을 한다. 재료에 적합한 온도, 진공도 또는 분위기 가스 중에서 처리하고 냉각시킨다.

이 공정은 비록 장시간이지만 무인 작업이 가능하고 효율적이어서 현재 MIM의 주류가 되어 있다.

그림10은 진공로를 이용한 탈지 소결시의 온도, 압력 차트이다.

5. MIM 프로세스의 문제점과 앞으로의 대책

MIM 프로세스에는 여러 가지의 특징이 있으나 아직 시장이 예상만큼 빨리 성장하지 않는 이유는 다음과 같은 문제점에 기인한다.

- 1) 원료인 분말 재료의 가격이 고가이다.
- 2) 초기 개발에 장시간이 걸린다.
- 3) 적용 재료에 따른 적절한 처리 노우하우의 개발이 아직 불충분하다.
- 4) 탈지에 시간이 너무 많이 걸린다.

이러한 문제를 해결하기 위해 앞으로 개발되어야 할 여러가지 과제가 남아 있다.

일본의 경우 시장 규모가 1998년에 MIM제품의 매출이 막 100억엔(약 1000억원)을 넘어섰다. 이제 국내에서도 도입기에 있는 MIM 시장이 크게 확대 성장하리라 기대한다.