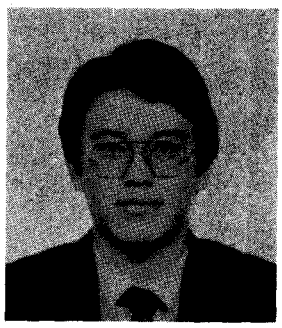
研究論文

尖端技術 어디까지 왔나

金屬粉末 射出成形技術의 최근 動向(完)



金 慶 洙
〈産業技術情報院 責任研究員〉

目 次

Ⅰ. 머리말
Ⅱ. MIM의 특징 및 종류
Ⅲ. MIM의 제조공정
Ⅳ. 시장 및 업계 동향
Ⅴ. 맺는말

〈고딕은 이번 號, 명조는 지난 號〉

〈前號에서 계속〉

3. 혼합, 혼련 및 조립

금속 분말과 바인더를 균일하게 분산, 혼합시켜 소정형상의 컴파운드(compound)를 만드는 공정이다.

금속분말과 바인더는 균일하게 혼합되어 있지 않으면 사출성형성이 나빠지고, 제품에 결함이 생기기 쉬우므로 미세한 금속분말이 바인더에 의해 완전히 피복되어 있는 상태가 이상적이다.

따라서 균일하게 혼련하기 위해서는 충분한 전단력을 가하면서 혼련해야 하며, 또한 바인더가 녹아있는 상태에서 혼련할 필요가 있으므로 혼련은 가열된 상태에서 하지만, 너무 온도가 높거나 시간이 길어지면 바인더 중의 성분이 변질되고, 휘발, 증발에 의해 조성이 변하며, 공기가 흡입되는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

혼련방식, 혼련기의 기종, 혼련조건(속도, 온도, 시간, 혼합순서 등)은 바인더의 조성, 금속분말의 性狀, 배합비 등에 따라 선정되며, 또한 컴파운드는 일반 플라스틱 사출성형용 원료와 같이 순조롭게 사출성형기에 공급하고 可塑化되기 쉽도록 펠렛화하는 것이 좋다. 따라서 컴파운드는 조립기로 조립하여 사용하며, 사출성형시 발생하는 스프루, 런너, 성형, 불량품 등의 스크랩을 재활용하고 원료 회수율을 높이기 위해 파쇄조립도 한다.

4. 사출성형

사출성형기술 및 장치는 기본적으로 플라스틱 사출성형의 경우와 동일하다. 성형조건은 바인더 시스템이나 금형의 캐비티 설계 등에 따라 다소 차이는 있지만, 많은 종류의 플라스틱이 사출성형에 사용되고 있음을 고려할 때 아직 단순하다고 할 수 있다.

MIM의 경우 일반적인 플라스틱 재료와 다른 점은 원료 컴파운드에 금속분말이 다량 함유되어 있어 열전도성이 좋고, 유동성이 나쁘며, 성형체(Green parts라고도 함)가 취약하다는 점 등이다. 따라서 성형시 플로우 마크, 웰

드 라인 등의 결함이 발생하기 쉽고, 금형설계 및 성형조건의 설정에 주의가 필요하며, 성형품을 금형에서 꺼낼 때도 충분한 주의가 요구된다. 반면 냉각속도가 빠르기 때문에 사출성형에 소요되는 시간이 빨라질 수 있는 이점도 있다.

금형의 설계, 제작에 있어서도 기본적으로는 플라스틱 사출성형용과 동일하지만, 플라스틱의 경우와 다른 점은 케이트의 크기 및 배치, 런너의 크기 및 밸런스, 돌출 핀의 크기 및 배치, 빼기구배의 설정, 언더컷 부분의 슬라이드 코아 등에 의한 처치 등 고려해야할 사항도 있다는 점이다. 또한 금형 치수도 성형체가 다음의 焼結工程에서 약 10~20% 수축한다는 점을 고려하여 결정해야 한다.

최근에는 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 금형내의 유동 · 고화해석 연구가 이루어 지고 있으며, 이 연구의 진전에 따라 금형의 최적설계 및 성형조건의 최적화를 도모할 수 있고, 성형체의 개선, 소결체의 정밀도 및 품질향상이 가능해질 것으로 예상된다.

〈표2〉는 건전한 성형체를 얻기 위한 MIM의 각종 조건인자를 요약, 정리한 것이다.

〈표 2〉사출성형체의 품질을 지배하는 주요인자

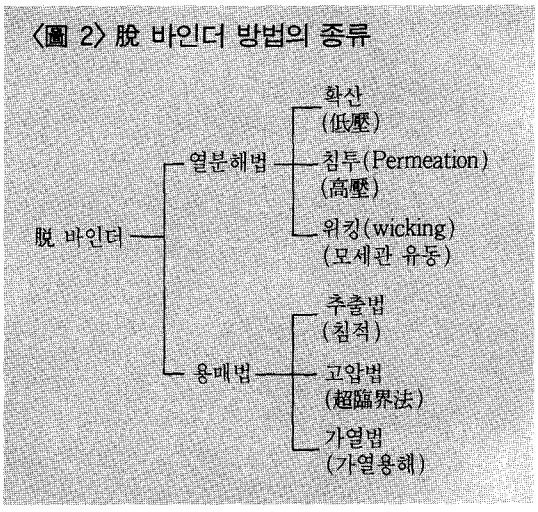
항 목	조건 · 인자
스 크 류 설 계	스크류 길이/직경, 피치각도, 피치간격, 홈깊이, 壓縮比, 믹싱부의 有無, 믹싱 피스의 구조
금 형 설 계	스프루 形狀, 런너굵기, 게이트 종류, 가열방식, 脫氣孔의 有無와 위치
온 도 설 정	실린더 각 부위의 온도분포, 노즐온도, 금형온도, 作動油溫, 원료온도
압 력 설 정	사출압력, 保壓力, 사출압력에서 保壓力으로의 교체시기
사 출 속 도	스크류 전진속도, 어큐뮤레이터의 有無
可 塑 性	스크류 회전수, 背壓力, 殘量
성 형 사 이 클	사출시간, 保壓時間, 냉각시간, 金型開閉時間

5. 脫 바인더(탈지)

사출성형공정이 완료되면 소결공정에 앞서 성형체로부터 바인더를 제거하여야 한다. 이것은 바인더가 성형체의 소결시 불순물로 작용하기 때문이다. 탈 바인더 공정은 종래 분말야금에서도 실시되는 경우가 있지만, MIM에서는 성형체가 다량의 바인더를 함유하고 있어 전체 MIM공정 중에서도 중요한 의미를 갖는다. 특히 탈 바인더 공정이 불충분하면 다음의 소결공정에서 여러가지 결함이 발생하며, 종래 프레스성형 분말야금의 탈 바인더 공정보다 기술적으로 더 어렵고 시간도 많이 걸린다.

탈 바인더 방법은 〈圖2〉와 같이 크게 가열에 의해 바인더를 증발, 분해시켜 제거하는 열분해법과, 溶劑에 의해 바인더를 溶出시켜 제거하는 溶媒法으로 나누어 진다.

〈圖 2〉 脫 바인더 방법의 종류



현재 가장 일반적인 것은 가열에 의한 열분해법이며, 발생한 가스의 제거기구에 따라 확산과 침투로 구분된다. 또한 개량된 열분해법의 일종으로 위킹(Wicking)법이 있다. 이 방법은 空孔의 크기가 작은 다공체를 바인더의 흡수체로 하여 성형체에 접촉시키고, 모세관 현상을 이용하여 액상의 바인더를 흡수제거하는 방법이다. 최근에는 열분해법의 일종으로 자외선을 照射하여 바인더를 제거하는 방법도 개발되고 있다.

열분해법의 경우 탈 바인더 시간은 바인더의

종류, 제품형상, 두께, 성형조건 등에 따라 달라지지만 통상 1~2일이 소요된다. 탈 바인더시 일부를 제외하고는 대부분의 바인더가 증발, 분해 제거되지만, 성형체의 치수변화는 거의 일어나지 않는다. 따라서 바인더 제거 후에는 空孔으로 되어 있다. 금속분말도 일부 산화되어 다갈색을 띠며 잔류 바인더와 함께 形狀을 유지한다. 이 상태를 Brown parts라고도 한다.

한편 脫바인더 시간을 더욱 단축시키는 방법으로, 기존 기술이지만 개량된 溶劑에 의해 바인더를 溶出시키는 溶媒法에는 통상의 浸漬抽出法 외에 高壓의 超臨界法 및 가열을 병행하는 방법이 있다. 이 중 浸漬抽出法이 일반적이며, 성형체를 염화메틸렌 등의 용제 중에 침적하여 주로 왁스와 천연식물유의 바인더를 용출시켜 제거하는 방법이다. 이 방법은 열분해법과 달리 원료분말과 바인더가 열영향을 받지 않는 이점이 있으며, 탈 바인더 시간도 열분해법의 1 / 10 정도란 보고가 있다.

이상의 탈 바인더 방법은 탈 바인더에 소요되는 시간이 모두 성형체 두께의 2승에 거의 비례하며, 이것이 MIM 제품의 허용 두께를 제한하는 요인이 된다. 현재 상업적 측면에서 탈 바인더가 가능한 성형체 두께는 약 10mm 정도이다. 또한 탈 바인더시에는 부품에 결함이 생기지 않도록 온도패턴 등을 설정할 필요가 있으며, 탈 바인더시의 결함으로는 성형체의 형상붕괴, 부풀음, 균열 등이 대표적 예이다.

6. 焼結

소결공정(sintering)에서는 잔류 바인더의 제거, 산화물의 환원, 탈탄, 상호확산, 수축 등 소결작용이 이루어진다. 소결은 종래 프레스 압축성형에 의한 분말야금과 마찬가지로 불활성, 환원성, 혹은 진공 零圍氣의 소결로를 사용한다.

한 예로 wiech(witec) 프로세스에서는 아르곤 가스를 주로 한 환원 분위기 중에서 소결하며 약 2~3일이 소요된다. 소결에 의한 수축율은 약 18~20%로 성형체의 재질에 따라 다르지만 방향성이 적은 균등 수축이기 때문에 ± 5% 이하의 높은 정밀도가 얻어진다. 소결체의 밀도는 Green parts시의 약 60%에서 1회 소결로 상대밀도 95% 전후로 상승한다. 내부는 數%의 空孔이 존재하고 있지만, 球形의 미세한 獨立空孔이 균일하게 분산되어 있기 때문에 강도 및 靱性이 우수하다.

고밀도 소결체는 소결온도를 높이거나, 소결시간을 길게 함으로써 얻어지며, 종래 프레스 압축성형 분말야금에서도 동일한 처리에 의해 고밀도 소결체가 얻어지지만, 프레스 압축성형시의 잔류응력이나 원료분말의 불균일한 충전밀도 등으로 인해 변형을 수반하는 예가 많기 때문에 소결후 단조, 코이닝(coining) 등으로 밀도를 높이는 방법이 이용된다.

반면 MIM의 경우는 바인더에 의해 금속분말을 금형의 캐비티내에 유입, 응고 시키므로 성형체내의 압력 및 충전밀도가 거의 균일하여 변형이 없는 고밀도 소결체가 얻어진다. 단, 고온에서 소결하는 경우는 재료의 軟化點을 훨씬 넘어섬으로 동력에 의한 변형이나 성형체가 서로 融着되는 점을 고려할 필요가 있다. 또한 MIM 에서는 탈 바인더된 성형체가 프레스 압축성형 분말야금시의 성형체와 달리 매우 취약하기 때문에 소결시 파손이나 형상붕괴에 주의를 요한다.

7. 후가공 및 기타

MIM은 부품의 최종 형상에 가까운 Near Net Shapes를 목표로 하고 있어 후가공이 불필요한 것을 전제로 하고 있지만, 소결시의 변형, 혹은 정밀도 향상을 위한 교정가공이 필요한 때 사이징(sizing) 등의 후가공을 실시한다. 또한 MIM 부품에는 도금, 黑染, 侵炭 등의 표면처리가 가능하며 소결품의 표면 粗度 4~6μ이 바렐연마 만으로 1~2μ으로 개선 가능하다.

Ⅳ. 시장 및 업계 동향

현재 MIM은 미국, 일본, 유럽 등에 보급되어 각종 금속부품 제조에 본격적으로 실용화되고 있으며, 우리나라도 최근 이 분야의 연구와 함께 일부 기업의 시장참여가 예상되고 있다.

여기에서는 MIM의 실용화가 가장 활발한 미국, 일본을 중심으로 시장 및 업계 동향을 알아본다.

1. 미국

〈표 3〉 美國 MIM메이커의 현황

회사명	개발연도	제품생산연도	1987년 매출액(달러)	1988년 매출액(달러)	종업원수	기술공여
Advanced Foring Tech.		1986	0.4	2.5	40	
American Orthodontics	1981	1986	0.4	0.6	5	Brunswick
Brunswick Technetics	1981	1986	0.4	0.4	9	own/Wiech
Components General	1986	1987	-	0.5	7	
Degussa		1986	-	2.0	?	
End. Sin. & Plastics	1977	1986	0.2	0.3	3	
Form Physics	1984		1.5	3	50	own/Mac Pherson
Haynes International	1972	1987	-	0.2	4	Rivers
Milett Sights		1975	1.5	1.7	40	Parmatech
Multinaterial Molding, Inc.		1981	0.7	1.2	10	Wiech
Multimetals	1987		0.3	1	9	
New Industral Tech.	1985	1987	0.3	0.9	4	Cabot[1]
Omark Industries	1982	1985	0.5	1	9	Brunswick
Parmatech	1971	1972	1.8	2.4	35	own/Wiech
Remington Arms	1980	1986	1	2	15	
Rocky Mt. orthodontics	1982	1985	0.5	0.6	15	Brunswick
SSI Tecnologies	1980	1987	0.1	0.3	4	Brunswick
Technology assoc.	1985	1987	-	0.1	7	
IBM	1978	1985	0.5	?	6[2]	Parmatech

주:1)Cabot사는 현재의 Haynes International 사
2)MIM에 관계하는 종업원수

미국은 이미 오래전부터 wiech 프로세스, Rivers 프로세스 등에 의해 각종 MIM 제품의 생산이 이루어지고 있다. 1972년에 MIM 제품 생산을 위한 Parmatech社가 설립되고, 1980년대부터 본격적으로 실용화되기 시작하여 현재 Parmatech社, witec社의 라이센스를 받은 IBM, Remington Arms, Multimaterial Molding 등 수십 社가 생산에 참여하고 있다. 〈표 3〉은 미국 MIM 메이커들의 현황을 소개한 것으로, 대부분 중소기업들로 구성되어 있다.

한편 MIM의 시장규모는 1985년의 경우 500만 달러 정도에 불과하였으나 1988년에는 세계시장 2,100만 달러중 미국시장 1,600만 달러, 1989년에는 세계시장 4,300만 달러중 미국시장 3,100만 달러로 매년 급속히 신장되고 있다. 또한 미국의 Gorham社에 따르면 향후 MIM의 세계 시장은 1995년 1~5만 달러, 2000년에 가서는 20~30만 달러 규모로 크게 성장될 전망이다. 현재 미국의 MIM 시장은 주로 의료, 치과, 우주·군수품, 전자기기, 카메라 등의 소형·정밀부품이 주류를 이루고 있다.

2. 일본

일본은 1987년경부터 본격적인 MIM 제품의 생산이 시작되었지만, 이미 1984년, 1985년에 이 분야의 선발메이커인 大和伸管과 住友金屬鑛山에 의해 MIM의 시작품이 발표된 바 있다. 현재 住友金屬鑛山, 大和伸管, 日本精線, 인젝스 등 20~30社가 참여하고 있다.

일본기업들의 시장참여는 크게 두 가지 형태로 이루어지고 있다. 즉, 미국으로부터 MIM 기술을 도입하는 경우와 독자적인 기술개발에 의해 참여하는 경우이다. 미국기술의 도입중 대표적인 것은 witec 프로세스이다. witec 프로세스는 미국의 witec社로부터 극동, 동남아시아, 오세아니아 등 12개국의 독점 실시권을 취득한 Witec Japan(1981년 설립)社가 기술노하우와 제조설비를, 또한 그 관련기업인 Multimaterial Japan이 원료 펠릿을 일본 국내의 기술도입 기업들에게 공급하고 있다. 현재 이들로부터 MIM 기술을 도입한 일본국내 기

업들은 大和伸管, 日本精線, 日本高分子, 岩機 다이캐스트 공업, 三光化學工業 등 12~13개사로 알려지고 있으며, 台湾 1개사에도 기술을 제공하고 있다.

한편 독자적인 기술개발로 참여한 기업은 住友金屬鑛山을 비롯한 인젝스, 세이코 電子部品, 住和重機工業, 三洋化成工業, 太平洋金屬, 岩手製鐵 등이며 자사부품만을 제조하는 브라더 工業과 같은 기업도 있다.

각사의 참여 동기는 매우 다양하며, 특히 粉末製造의 대메이커인 川崎製鐵과 세이코 엡슨의 합병기업인 인젝스社는 손목시계 케이스와 밴드부품을 MIM으로 제조하여 세이코 엡슨에 납품하고 있다. 세이코 전자부품의 경우는 세이코 전자공업의 자회사로서, 시계용 부품이 성형기술중 하나로 MIM을 실용화하고 있다.

住和重機는 자회사인 住重 테크노센터가 MIM 사업을 담당하고 있다. 사출성형기 메이커인 住和重機는 사출성형기, 조립기, 혼련기 등을 판매할 때 성형기술도 부가하여 판매하는 경우가 많기 때문에 MIM 기술을 실용화하였으며, 그 결과 성형사업에도 참여하게 된 것이다.

三洋化成工業의 경우는 세라믹스 등의 분말 사출성형용 바인더를 개발한 것이 계기가 되고 있다. MIM용 바인더를 개발하는데 성공함에 따라 성형사업에도 참여하게 되었다. 太平洋金屬은 MIM용 미세한 금속분말을 공업화함에 따라 粉末메이커가 성형사업에도 참여하게 된 경우이다.

이상의 기업들 외에도 日本製鋼所, 日立金屬, 三菱金屬, 三井金屬鑛業 등이 참여를 준비하고 있으며 MIM 시장이 급격히 신장될 경우 더욱 많은 기업들의 참여가 예상되고 있다. 한 조사에 따르면 현재 신규참여를 고려중인 일본국내 기업만도 200개사에 이르고 있는 것으로 파악되고 있다.

현재 일본국내 MIM 시장은 주로 시계 외장부품, 정밀기계부품, 전자부품 등이 중심이 되고 있다. 시장 규모는 1988년 220만 달러, 1989년 600만 달러로 아직은 그 규모가 작지만, 성장속도가 매우 빨라 향후 시장규모는 1995년에 세계시장 400~800억엔 중 일본시장 50억엔, 2000년에는 세계 시장 3,000억엔 중 일본시장 300억엔에 이를 것으로 예상되고 있다.

V. 맺음말

MIM은 복잡한 형상의 부품성형, 양산성, 강도, 인성, 치수 정밀도, 표면 粗度 등 뛰어난 특징을 갖고 있지만, 현시점에서는 고가의 원료분말로 인해 그 적용대상이 복잡한 형상의 소형부품에 한정되어 있고, 또한 탈 바인더, 소결 등 생산공정면에서도 해결해야 될 여지가 남아 있다.

그러나 MIM은 최근 본격적인 실용화가 진전됨에 따라 가까운 장래 원료분말가격의 저하, 적용재료의 확대, 성형기술의 개선 등이 이루어질 전망이며, 또한 현재 MIM 특징을 살린 독자적인 용도개발도 모색되고 있어, 금후 금속부품의 새로운 성형가공기술로서 더욱 시장규모가 확대될 것으로 기대되고 있다. 〈♣〉

案 發明特許資料 판매센터 內

本會는 發明特許 관계 資料 판매센터를 서울시 江南區 三成洞 韓國綜合展示場(KOEX)別館 2층 發明奬勵館內에 설치하여 운영하고 있습니다.

많은 活用바랍니다.

문의전화 : (서울) 551-5571~2