

정밀주조의 현황과 전망

한국기계연구원 환경재료 연구센터 조창용

기계부품을 생산하는데 있어서 로스트왁스공법이나 인베스트먼트공법이라고 불리는 정밀주조법이 많이 적용되고 있으며, 다양한 장점 때문에 그 시장이 산업 전반으로 급격히 성장해 가고 있다. 이러한 시장의 급격한 증가 추세는 복잡한 형상의 부품을 제조함에 있어서 가공을 줄여서 비용과 시간을 절감하려는 욕구가 점차 커지면서 정밀주조의 제조기술도 이러한 욕구를 충족시켜주는 방향으로 점차 발전해 나가고 있기 때문이다.

이러한 정밀주조법의 원리는 결코 새로운 것은 아니다. 중국이나 이집트에서는 이미 2000여년 전부터 이용했는데, 주로 청동제의 미술품이나 불상을 만드는데 이용했다. 로스트왁스공법이 공업적으로 발전한 것은 2차 세계대전 중에 미국에서 항공기와 병기 부품을 만드는데 사용한 것이 시초였다. 한국에서는 70년대에 일본과 미국에서 사용하는 로스트왁스공법을 도입하여 방위산업 부품과 산업기기 부품을 생산한 것을 시초로 하여, 최근에는 엔진, 발전설비, 항공기의 구조용 부품에 이르기 까지 고부가가치 품목을 생산할 수 있는 단계에 들어왔다. 세라믹몰드법은 1950년경 영국의 쇼(Shaw) 형제에 의해 개발된 쇼-프로세스(Shaw Process)와 1960년경에 미국에서 개발된 유니캐스트 프로세스(Unicast Process)가 있다. 한국에서는 90년대에 초부터 사형주조에서 사용하는 CO₂공법에 로스트왁스공법에서 사용하는 주형피복용 슬러리를 응용하여 접목시킨 세라믹몰드법을 이용하여 대형 임펠러나 신발금형의 소재를 주조하여 만들고 있다.

산업기술이 발전함에 따라 보다 저렴한 제조비용으로 기계의 성능과 수명을 개선하고, 경량화를 하려고 하는 경향이 커지고 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 부품의 형상이 더욱 복잡해지고 다양한 재질의 선정이 가능해야 한다. 형상이 복잡해지면, 기계가공을 위한 시간이 길어지거나 불가능하게 된다. 또한 부품의 수명을 연장시키기 위해서 특수한 재질을 선정하는 경우에는 단조에 의한 성형이나 기계가공이 불가능한 경우도 생기게 된다. 생산해야 할 수량이 많지 않거나, 기계가공이나 수가공에 의해 제작하는데 많은 시간이 소요되는 부품 등을 그다지 많은 비용을 들이지 않고 손쉽게 생산하는 데는 정밀주조공법이 가장 적합할 것이다. 정밀주조법으로 대표되는 로스트왁스공정은 Fig. 1에 도식적으로 나타냈다.

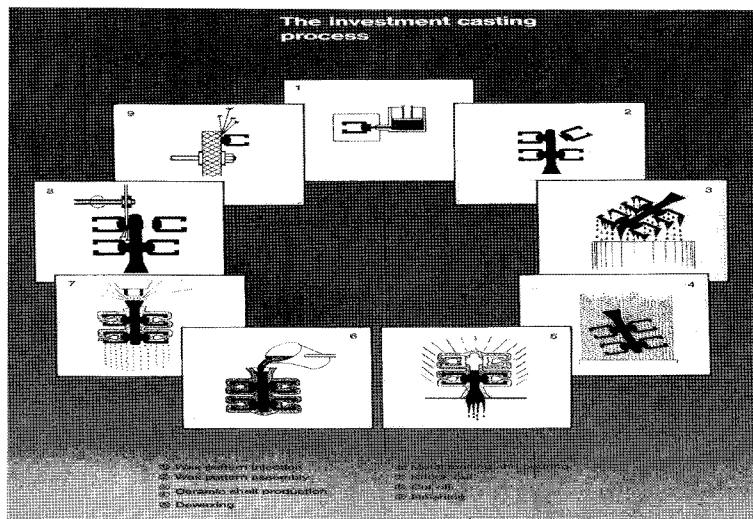


Fig. 1. Scheme of Investment Casting Process.

다른 하나 정밀주조의 큰 장점은 좁고 복잡한 형상이나 역경사(under cut)의 내부 공간을 가진 부품을 생산할 수 있다는 것이다. 이러한 제품을 생산하기 위해서는 왁스모형을 사출할 때 수용성왁스(water soluble wax)나 세라믹으로 만든 중자를 이용하게 된다. 20세기에서 정밀주조 기술은 가스터빈 블레이드 제조기술의 발달과 함께 크게 발전하였다. 즉, 발전설비나 항공기, 선박용에 사용되는 가스 터빈의 버킷(블레이드) 등은 터빈 입구온도(TIT : Turbine Inlet Temperature)를 올려서 엔진의 열효율을 증가시킨다. 일반적으로 가스터빈의 TIT는 초내열합금의 용점부근 혹은 용점보다 높은 온도인 것이 대부분이다. 따라서 터빈 블레이드의 내부를 차가운 공기로 냉각함으로써 터빈블레이드가 높은 온도에서 작동될 수 있도록 한다. 세라믹코어의 개발로 인해서 정밀주조에 의해서만 이러한 제품의 생산도 가능하게 되었으며, 정밀주조산업이 고부가가치 부품을 생산할 수 있도록 한 단계 더 올라 설 수 있었다. 가스터빈 엔진에서 가장 온도와 응력의 조합이 심하며, 엔진의 성능에 가장 핵심적인 역할을 하는 터빈 블레이드의 내부 냉각유로는 Fig. 2와같이 초기에는 단순한 구조로 설계하였으나, 보다 고온에서 작동되는 가스터빈의 설계와 함께 그 형상도 복잡한 유로(Serpentine cooling)으로 발전되어 왔다. 이와 같은 터빈 블레이드 냉각 기술은 발전용 가스 터빈 블레이드의 냉각에도 응용되어 고효율 가스터빈의 경우에도 동일한 기술이 적용되고 있다.

정밀주조의 또 하나의 독특한 장점은 재료의 선정과 조직의 제어가 다른 제조공정에 비해서 쉽다는 점이다. 정밀주조 기술의 발전은 소비자의 욕구에 의해 이루어지게 되었는데, 그 중에서 가스 터빈엔진의 발전이 가장 크게 영향을 미쳤다.

이상에서 언급한 가스터빈에서 가장 핵심부품인 터빈 블레이드는 가스터빈의 개발 초기에는 단조에 의해 제조하였으나, TIT의 증가와 함께 보다 고온에서 사용될 수 있는 합금의 개발과 함께 강화상의 체적율을 증가 시킴에 따라 단조에 의한 제조가 더 이상 불가능하게 되었다. 따라서 진공정밀주조에 의해 제조하는 것이 터빈 블레이드 제조 공정으로 일반화되었다. 정밀주조로 제작된 터빈 블레이드는 다결정조직을 갖게 된다. 터빈블레이드는 고온에서 길이 방향으로 높은 응력을 받게 되고 이에 따라 결정입계의 미끄럼에 의한 균열이 초래될 수 있다. 따라서 미국의 PW사에 의해 결정립을 응력방향과 평행하게 성장시키는 방향성응고 터빈 블레이드(Directionally Solidified Turbine Blade)와 하나의 결정으로 터빈 블레이드를 제작하는 단결정 터빈 블레이드(Single Crystal Turbine Blade) 제조기술이 개발되어 보편화되었다. 아울러 이들의 용도에 적합한 초내열합금의 개발도 병행되어 졌다. Fig. 3에 다결정, 방향성응고 및 단결정 터빈 블레이드를 나타냈다.

국내에서도 80년대 초반에 한국기계연구원에서 진공용해로를 이용하여 정밀주조에 의한 블레이드 개발에 대한 연구한 것이 시초가 되어, 80년도 후반으로 접어들면서 몇몇 연구소나 업체에서도 진공용

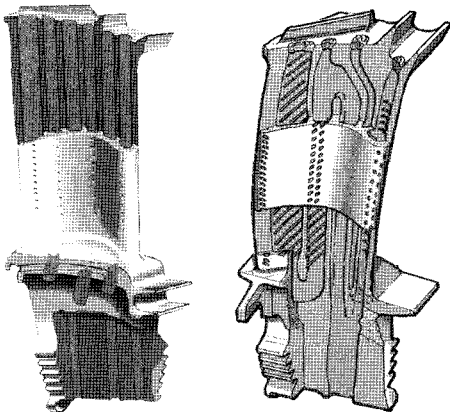


Fig. 2. Evolution of cooling passage in turbine blade.

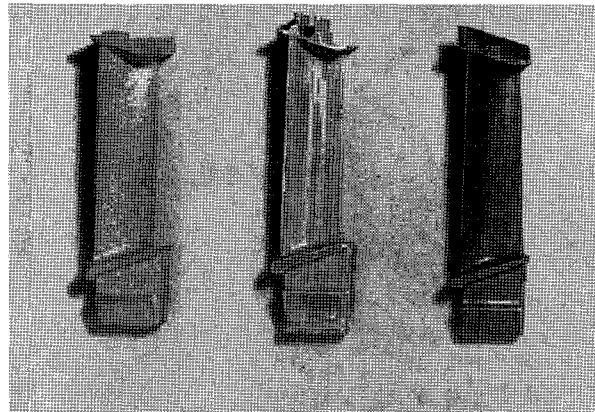


Fig. 3. Evolution of Turbine Blade Casting Technology (Equiaxed, Directionally solidified and single crystal).

해로를 도입하였다. 국내에서 진공정밀주조기술은 한국로스트왁스 등 일부 기업에서 국방관련 사업과 연계하여 미국의 엔진회사로부터 제조승인을 받는 등 다결정을 제조하기 위한 기술과 장비 공정은 어느 정도 안정화 되었다고 볼 수 있다. 하지만 대형 발전용 부품 등은 일부 기술개발을 진행하였거나 하고 있으며 실용화를 위한 품질인 증의 문제로 국산화는 아직 미미한 실정이다. 특히, 고급 기술인 방향성응고나 단결정응고기술을 활용한 터빈 부품의 진공정밀주조기술은 일부 기업과 연구소를 중심으로 기술개발이 진행하고 있는 실정으로 완전한 국산화를 위해서는 아직도 기술적인 문제를 극복해야 한다. 또한, 외국 엔진 회사들의 기술공개 거부와 국가차원의 기술 통제, 기존 가스엔진에 적용하기 위한 성능 시험 시설의 부족 등으로 국산화가 거의 이루어지지 않고 있다. 이와 같은 진공정밀주조 기술이 발전하게 되면 수입에 의존해 오고 있던 고부가가치의 부품들의 국내 생산이 가능하게 되어, 수입대체 효과가 막대할 뿐만 아니라, 성능과 수명을 고려하여 다양한 재질과 조직의 선정이 쉬워져서 기계부품을 설계하는데 큰 도움이 되고, 다른 산업 전반에 미치는 영향은 아주 클 것으로 기대된다.

고 신뢰성이 요구되는 부품들을 정밀주조에 의해서 개발하는 데는 나름대로의 애로점이 많다. 정밀주조품을 생산하는 대부분의 업체들이 중소기업으로서 자금력이나 기술인력의 부족으로 독자적인 개발은 거의 불가능하다는 것이다. 설사 이런 어려움을 극복하고 부품의 개발에 성공하였다고 하더라도, 이 부품의 품질을 인증받고 생산하여 납품하기가 쉽지 않다. 최근에는 국가적으로 자금을 지원하여 이러한 개발에 힘쓰고 있으나, 중소기업의 특성상 개발된 부품의 품질보증이나 수주는 아주 어렵다. 국가 자금을 지원하여 제품을 개발할 때는 품질보증을 받아서 사용하는데 까지 정부나 사용할 기관은 체계적으로 뒷받침 하여서 개발이 단지 개발로만 끝나서 돈만 허비하는 일이 반복되어서는 안될 것이다.

국내 정밀주조산업이 앞으로 극복하여야 할 과제는 많다. 일반 사형주조는 자동조형설비를 도입하고, 최근에는 주물사나 폐기물을 재생하거나 회수하는 연구를 함으로서 그 생산성이 높아지고 노동강도, 작업환경 등이 아주 많이 개선되었으나, 정밀주조 업체들은 대부분 영세하여 자체의 공정 기술을 개선하지 못하고, 업체의 숫자가 많지 않으므로 기술개발에 관심을 갖는 타 기관이 없다. 몇 업체에서는 진공 용해 장비나 주형피복을 위해서 로봇을 도입하여 사용하고 있으나, 공정기술이 20여년 전의 모습과 크게 바뀐 것이 없다. 작업환경의 개선이나 공정시간의 단축, 생산성 향상, 자동화에 의한 노동강도의 개선 등의 이루어져야 생산비용이 낮아져서 경쟁력을 갖출 수 있고, 생산에 종사하는 사람들이 정밀주조 분야에서 근무하는 것을 꺼리지 않게 되어, 기능인력 확보가 쉬워져서 정밀주조 산업이 사양화 되지 않을 것이다.