

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단 학술연구조성비에 의하여 지원되었음

통기성 세라믹형을 이용한 알루미늄 신발금형의 쾌속제작

정성일*, 정두수*, 김도경**, 정해도***, 조규갑****

Rapid Tooling of Aluminum Shoes Mold Using Porous Mold

Sung Il Chung*, Du Su Jeong*, Do Kyung Kim**, Hae Do Jeong***, and Ku Kap Cho****

ABSTRACT

The RP&M(Rapid Prototyping and Manufacturing) is the most appropriate technology for the small-lot production system, in which the production cycle is getting shorter owing to various needs from consumers. Recently RP products which are made of plastics, wax, and paper are used to verify the design of samples. But these products cannot be applied to the real mold because the strength enough to be a mold cannot be given by soft materials such as plastics. So RP products are copied to AFR(Al powder Filled Resin) molds or metal molds, which is called the RP&M. In this paper, RP&M is applied to a casting process. A porous casting mold, which is made from ceramic powder and binder, is used for rapid tooling of aluminum shoes molds.

Key Words : slurry(슬러리), porous casting mold(통기성주형), slurry casting(슬러리 캐스팅), vacuum sealed casting(흡인주조)

1. 서론

산업이 발달함에 따라 3차원의 복잡한 형상의 제품이 점차로 늘어가는 추세에 있다. 그러한 복잡한 제품 중의 한 예로 신발을 들 수 있다. 신발은 자유 곡면을 많이 포함할 뿐만 아니라 미세한 형상들이 많기 때문에 금형의 제작 및 수정이 상당히 까다로운 금형 중의 하나이다. 특히 신발은 하나의 모델을 위한 금형이 한 종류가 아니라 신발의 크기 별로 다양한 금형을 필요로 하기 때문에 더욱 제작이 힘든 것으로 알려져 있다. 현재까지 신발금형으로 널리 쓰이는 철강 금형은 많은 문제점을 가지기

때문에 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 알루미늄 주조를 이용한 신발 금형을 제작하였다. 알루미늄은 철에 비하여 용점이 낮고, 중량이 가벼우며 열전도율이 높다. 그러므로 금형의 제작 시 용해 시간을 절약할 수 있고, 또한 신발 제작 작업시 작업 부하를 철강의 1/3수준으로 줄일 수 있으며, 또한 금형 예열 시간을 줄일 수 있기 때문에 열에너지 절감 및 작업 준비 시간의 단축 등을 기대할 수 있다. 또한 알루미늄은 주강과는 달리 재활용이 용이하다. 실제로 알루미늄 신발 금형은 94%의 재활용이 가능하며, 나머지 6%는 용해 시의

* 부산대학교 대학원
** 기온캐스텍
*** 부산대학교 기계공학부
**** 부산대학교 산업공학과

산화에 의한 손실로 발생되게 된다. 또한 알루미늄의 열처리 조건을 고부성형 온도인 180℃부근에서 강화되는 조건으로 설정할 경우 강도의 개선을 가져올 수 있다. 그러나 알루미늄과 같은 비중이 비교적 낮은 금속의 주조 공정에서 가장 문제가 되는 점은 용탕 내부의 기포이다. 철제품을 주조로써 만들 때에는 철의 비중이 높기 때문에 용탕 내부의 기포는 철의 자중에 의해 대부분 외부로 배출이 되기 때문에 기포가 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 알루미늄의 주조 공정에서는 기포가 용탕과 금형 사이의 계면에 잔존하여 제품의 품질을 저하시킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구가 활발히 연구되고 있는 실정이다.^{1),2)}

본 연구에서는 세라믹 분말을 사용하여 통기성형을 제작하였는데, 통기성형의 제작은 슬러리카스팅 공정을 이용하였다.³⁾ 본 연구에서는 알루미늄의 흡인 주조를 위한 주형(Casting Mold)을 통기성 세라믹형으로 제작하여 그 특성을 평가해 보고, 실제 알루미늄 신발금형의 제작에 적용해 보았다.

2. 통기성 세라믹형의 제작

본 연구에서 세라믹의 성형에 이용한 성형 공정을 Fig.1에 나타내었다. 우선 실리콘고무형을 제작해야 하는데 신발 금형은 언더컷(Under Cut)이 많기 때문에 실리콘고무형을 제작할 때에는 형상에 주의를 하여 탈형이 용이하도록 제작하여야 한다. 다음으로 분말과 바인더를 혼합하여 슬러리를 제작한다. 통기성형의 강도에 가장 큰 영향을 미치는 것이 세라믹 분말의 균일한 분포이기 때문에 슬러리의 제작시 분말과 바인더의 교반을 충분히 해주어야 한다. 이렇게 제작된 슬러리를 실리콘고무형에 주입한 후, 가벼운 진동을 가하여 슬러리 내부의 큰 기포들을 제거한다. 일반적인 세라믹 분말의 성형에는 프레스에 의한 가압 과정과 고온에서의 소결 과정을 통해 분말 내부의 기포들이 완전히 제거되어 고품질의 소결체를 얻을 수 있다. 그러나 본 연구의 목적이 통기성 세라믹형의 제작이므로 이러한 미세한 기공들의 완전한 제거는 불필요하지만, 미세한 기공이 아닌 어느 정도의 크기를 갖는 기포들이 소결체의 내부 또는 표면에 존재할 경우, 통기성 세라믹형의 결합으로 남아 주형의 품질이 저하되므로 큰 기포가 발생되지 않도록 각별히 유의해야만 한다. 실리콘고무형에 담긴 슬러리는 상

온에서 경화 과정을 거치게 된다.

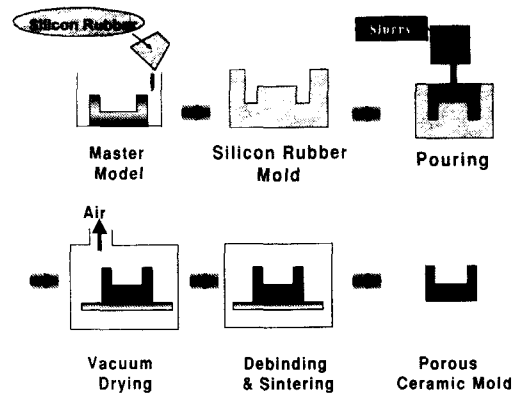


Fig. 1 The Manufacturing Process of Slurry Casting⁴⁾

완전한 경화가 이루어지면 실리콘고무형으로부터 분리한 후, 100℃의 온도에서 진공 건조를 시켜 성형체(Green Part)내부의 수분을 증발시킨다. 진공 건조를 거친 후 성형체는 탈지 및 소결 공정을 거치면서 소결체(Sintered Part)를 이루게 된다. 본 연구에서 제작된 통기성형은 세라믹 재료를 이용하여 만들기 때문에 탈지 및 소결에 있어서 지나치게 빠른 온도의 상승 및 냉각은 소결체의 표면에 균열을 유발하므로 서서히 승온 또는 냉각을 행하여야 한다.

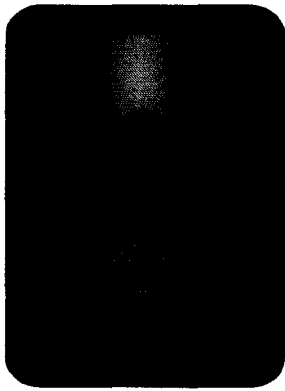
3. 통기성형의 평가

본 연구에서 제작된 통기성 세라믹형은 알루미늄 주조 공정에서의 주형으로 사용되기 위하여 제작되었다. 그러므로 일반적인 세라믹 제품이 가져야 할 가장 중요한 요소인 강도는 그다지 중요하지 않다. 흡인 주조(Vacuum Sealed Casting)를 위한 주형으로써 가져야 할 가장 중요한 요소로는 통기도(Air Permeability), 치수 정밀도, 그리고 전사성(Forming Capability)를 들 수 있다. 주형의 통기도가 좋을수록 용탕과 통기성 세라믹형의 사이의 밀착이 좋아져서 미세한 형상의 표현이 가능하게 된다. 그러나 통기도를 개선시키기 위해 입경이 큰 분말을 사용할 경우 통기성형의 표면 품질이 나빠지는 단점을 함께 가지게 되므로 적절한 입경의 분말을 선택할 필요가 있다. 본 연구에서는 4.5 μ m, 55 μ m의 다

한 입장의 알루미늄 분말에 45 μ m의 지르코니아 분말을 작자 혼합한 분말을 이용하여 A, B-type의 두 종류의 시편을 제작하였다.

3.1 통기도 및 치수정밀도

Fig. 2에 통기도 측정방법을 나타내었다.



$$\text{통기도} = \frac{V \cdot h}{P \cdot A \cdot t}$$

P : 수주높이 (9.8 cm · H₂O)

V : 통과 시킨 공기량 (2000 cc)

A : 시편의 단면적 (19.625 cm²)

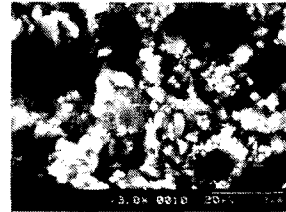
h : 시편의 높이 (5 cm)

t : 통과 시간 (Min)

Fig. 2 Measure of Air Permeability

2000cc의 공기가 9.8cm · H₂O의 압력하에서 직경이 50mm, 높이가 50mm인 원기둥 형상의 시편을 통과하는데 걸리는 시간을 측정하여 통기도를 평가하였다. 이 실험의 결과 A시편은 17.6, B시편은 7.6을 나타내었다. 이것은 9.8cmH₂O의 압력하에서 2000cc의 공기를 통과시키는데 A시편은 2분 55초

의 시간이, B시편은 6분 39초가 걸렸다는 것을 의미한다. A시편의 입경이 크므로 통기도에 있어서 A시편이 우수한 것은 당연한 결과일 것이다. Fig.2에 나타난 A, B시편의 내부조직사진을 살펴보면 이와 같은 현상을 잘 이해할 수 있다.



(a) Microstructure of A-Type Specimen



(b) Microstructure of B-Type Specimen

Fig. 3 Microstructure of Porous Mold

Fig.3(a)는 A시편의 내부조직사진을 나타내는데 55 μ m의 큰 입자들 사이의 일부 공간을 슬러리의 교반 과정에서 분쇄된 미세한 입자들이 메우고 있으나 나머지 대부분의 공간은 기공으로써 통기도를 증가시키는 역할을 한다. 이에 비해서 Fig.3(b)에 나타난 4.5 μ m의 알루미늄 분말을 사용한 B시편의 내부조직사진을 살펴보면 4.5 μ m의 알루미늄 분말사이의 공간이 A시편에 비해서 상대적으로 작다는 것을 알 수 있다.

다음으로 치수 정밀도를 살펴보면, 통기성 세라믹형은 탈지와 소결 공정을 거치면서 수축이 발생하게 된다. 그런데 A시편의 경우는 크기가 유사한 55 μ m의 알루미늄 분말과 45 μ m의 지르코니아 분말을 사용하였기 때문에 유기 바인더가 탈지되면서 생긴 공간의 유지가 가능하여 수축이 적게 발생하였다. 그러나 B시편의 경우에는 4.5 μ m의 알루미늄 분말과 45 μ m의 지르코니아 분말을 사용하였기 때문에 유기 바인더가 탈지되면서 생기는 공간을 미

분인 알루미늄 분말들이 일정 부분을 메우면서 수축을 발생시켜 1.2% 정도의 수축을 나타내었다. 통기도 및 수축률 평가의 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Result of Air-permeability and Shrinkage

	A-Type Specimen	B-Type Specimen
Air Permeability ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm} / \text{cmH}_2\text{O} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{min}$)	17.6	7.7
Dimensional change (%)	0.5	1.2

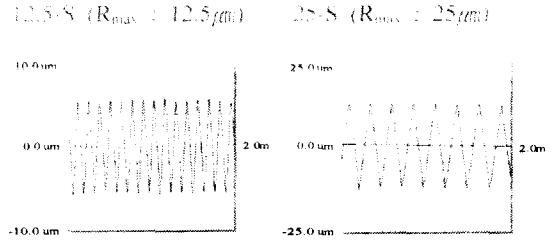
3.2 전사성

Fig. 4는 본 연구에서 전사성의 평가를 위해 사용한 표면조도 표준시편을 나타낸다.

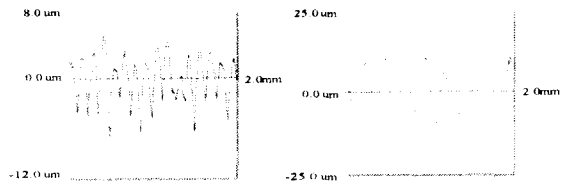


Fig. 4 Standard Specimen of Surface Roughness

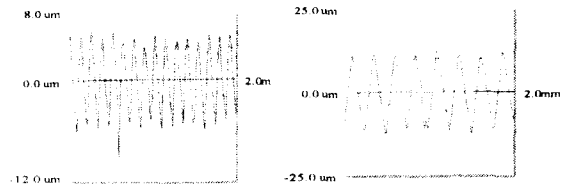
표면조도 시편에는 연삭과 절삭으로 가공된 면이 함께 있지만 본 연구에서는 절삭으로 가공된 면만을 사용하였다. 즉, 표준시편의 표면에 균일하게 절삭 가공된 V홈을 흡인 주조 공정을 거친 주조품이 얼마나 유사하게 전사할 수 있는가를 측정하여 전사성을 평가하였다. Fig 5에 그 결과를 나타내었다. Fig. 5 (a)는 표준시편의 표면에 규칙적으로 가공된 V홈의 형상을 나타낸다. Fig. 5 (b),(c)는 각각 A,B-Type의 시편의 V홈의 형상을 나타낸다. 표준시편과 비교해 볼 때, A시편에 비해서 B시편의 경우 미세한 형상의 표현이 가능함을 알 수 있다. A시편의 경우, 25-S는 전사가 가능한 반면에 12.5-S의 전사는 불가능하다. 그러나 B시편의 경우에는 25-S와 12.5-S가 모두 가능하다는 사실을 확인할 수 있다.



(a) Standard Specimen



(b) A-type Specimen



(c) B-type Specimen

Fig. 5 The result of Forming Capability

4. 흡인주조를 이용한 알루미늄 신발 금형의 제작

본 연구에서 사용한 흡인주조란 통기성 주형에 알루미늄 용탕을 부은 후, 진공 펌프를 가동시켜 통기성 세라믹형의 미세한 기공(Pores)들을 통하여 알루미늄 용탕과 통기성 세라믹 주형 사이의 기포들을 제거시켜 주물의 특성을 향상시키는 공정을 말한다. 이러한 방법으로 기포가 제거되면 용탕과 주형의 밀착성이 향상되어 주물 조직이 치밀해지고, 미세한 형상의 표현이 가능하게 되는 것이다. Fig. 6에 흡인주조의 공정을 나타내었다.

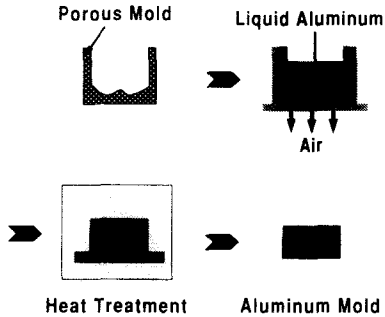


Fig. 6 Process of Vacuum Sealed Casting

Fig. 7에 일반주조품과 흡인주조품의 표면의 조직을 비교하였다. 흡인주조로 제작된 제품의 표면이 양호함을 확인할 수 있다. 일반적인 주조 방식에서는 금형의 표면에 용탕을 흘려 넣은 후 용탕이 응고된 후 주물(Casting Products)을 꺼내는 방식을 취한다. 이 경우에는 용탕이 응고하면서 표면장력이 발생하기 때문에 Fig. 7(a)에서 볼 수 있는 것처럼 주물의 표면에 물방울과 유사한 무늬를 갖는 조직을 형성한다. 그러나 흡인 주조를 사용할 경우에는 진공에 의한 흡인력으로 인해 이러한 표면장력을 완화시켜 주기 때문에 Fig. 7(b)에서와 같이 양호한 표면의 주물을 얻을 수가 있는 것이다.

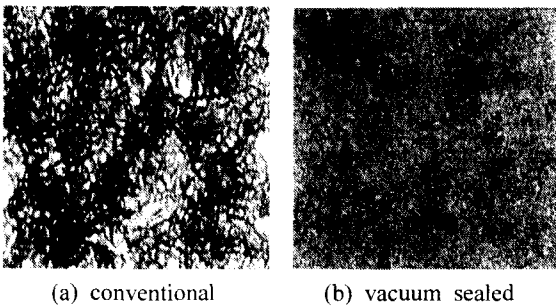


Fig. 7 Microstructure of Product by Conventional and Vacuum sealed casting

실제로 통기성 세라믹형과 흡인 주조 공정을 이용해 제작된 알루미늄 신발 금형을 Fig.8, Fig.9에 나타내었다. Fig.8은 골프화 밑창의 일부분을 나타낸다. 기존의 주조공정에서는 표현이 힘든 미세한 형상의 표현이 가능함을 확인할 수 있다. Fig.9는 운동화의 중창(Midsole)을 제작하기 위해 본 연

구에서 제작된 알루미늄 금형의 형상을 나타낸다. Fig. 8.9에 나타낸 알루미늄 금형들은 절삭 공정을 거치지 않고 샌드 블라스팅(Sand Blasting)만으로 후처리를 한 것이다. Fig. 10에 나타낸 신발제품은 본 연구에서 개발된 알루미늄 금형을 이용해 제작한 운동화의 파이론 중창(Phyron Midsole)의 사진을 나타낸다. 알루미늄 금형에서 보여지는 미세한 패턴이 그대로 전사되어 있음을 확인 할 수 있다.

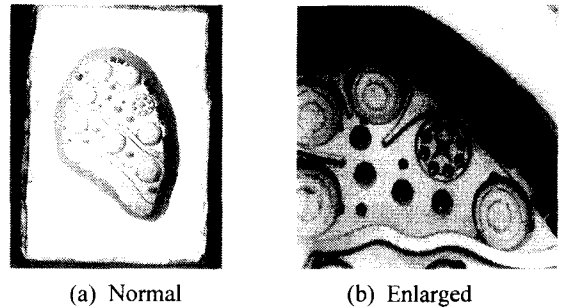


Fig. 8 Aluminum Golf-Shoes Mold

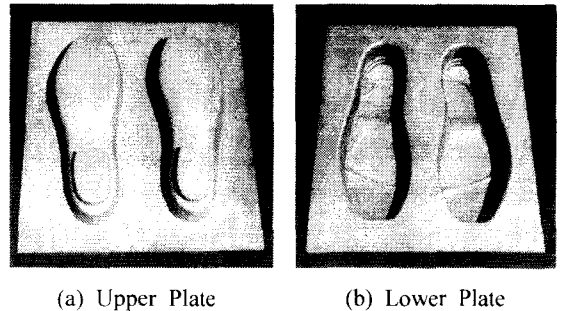


Fig. 9 Aluminum Shoes Mold

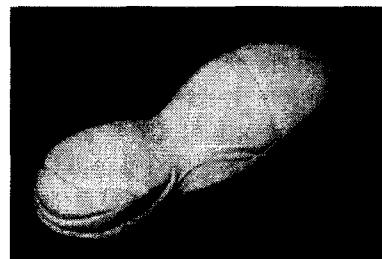


Fig. 10 Travelling Shoes Midsole made by Compressing Phylon

5. 결론

이상의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 통기성 세라믹형의 제작에 쓰여진 세라믹 분말의 입경이 클수록 통기도 및 치수 정밀도는 향상되지만, 통기성 세라믹형의 표면품위 및 결합강도는 떨어진다.
2. 흡인 주조 공정을 이용한 알루미늄 신발 금형의 제작에 필수적인 통기성 세라믹 주형을 단시간에 제작할 수 있었다.
3. 통기성 세라믹형과 흡인 주조를 이용하여 종래의 주물과 비교하여 주물의 표면 품위가 현저하게 향상된 알루미늄 신발 금형을 단시간에, 적은 비용으로 얻을 수 있었다.

6. 향후 연구과제

본 연구에서는 통기성 세라믹형을 주형으로 이용하여 알루미늄 신발 금형을 제작해 보았다. 그러나 신발 금형이 아닌 일반적인 알루미늄 금형의 제작을 위해서는 다이 캐스팅으로의 접목이 필수적이다. 현재까지 다이 캐스팅 금형의 시작에는 주로 석고형이 쓰이고 있으나 석고형에 의한 주물 조직과 다이 캐스팅에 의한 주물 조직이 큰 차이를 보이기 때문에 본 연구에서 개발된 슬러리와 흡인 주조 공정을 이용하여 다이 캐스팅에 접목시킨다면 보다 양산에 가까운 시작품의 생산이 가능할 것이다. 또한 다이 캐스팅의 가장 큰 문제점으로서 다이 캐스팅 제품 내부의 가스에 의한 기공 및 수축공에 의한 결함들 때문에 열처리가 불가능하다는 사실이다.⁵⁾ 그러므로 본 연구에서 개발된 통기성형의 강도를 개선하여 실제 다이 캐스팅의 양산에 적용한다면, 열처리 과정을 거친 보다 우수한 조직을 갖는 알루미늄 주물을 얻을 수 있을 것으로 생각되어진다.

참고문헌

1. Dong Yang, " Design and Development of Trial Die Casting Process by Using Rapid Prototyping," *Rapid Prototyping and Manufacturing'99*, pp.659~673, 1999.
2. Da Xu, Yuan Liu, Xudong Yan, " Study on

Unbaked Ceramic Mold Casting Process Based on Rapid Prototyping Technology," *Progress in Rapid Prototyping Manufacturing and Rapid Tooling*, pp. 381~387, 1998.

3. Nakagawa.T, Imamura.M, Xu.Y., " Overview of rapid prototyping research and development in Japan." *Proceedings of the 8th International Conference on Production Engineering*, pp. 3~16, 1997.
4. 정성일, 정두수, 임용관, 정해도, 조규갑, " 슬립 캐스팅을 이용한 통기성 세라믹형의 쾌속 제작," *한국정밀공학회지 제16권 제5호*, pp. 98~103, 1999.
5. 김경현, 정인상, "알루미늄 다이캐스팅 제조기술," *대광서림*, pp. 14~20, 1994.