

신발 금형의 쾌속제작기술 개발 및 그 적용에 관한 연구

정성일[†] · 임용관^{*} · 정해도^{*} · 정두수^{**} · 배태용^{***} · 이석우^{****} · 최헌중^{*****}
(2003년 2월 25일 접수, 2003년 6월 18일 심사완료)

Development of Rapid Tooling Technology for Shoe Mold and Its Applications

Sungil Chung, Yonggwon Im, Haedo Jeong, Dusu Jeong, Taeyong Bae,
Seokwoo Lee and Honzong Choi

Key Words: Rapid Tooling(쾌속금형제작기술), Shoe Mold(신발 금형), Vacuum Sealed Casting(흡인주조), Aluminum Casting(알루미늄 주조), Low Melting Alloys(저용점 합금)

Abstract

RP&M (Rapid Prototyping and Manufacturing) is the most appropriate technology for the small-lot production system, because the production cycle is getting shorter owing to various needs of the consumer. In this paper, rapid tooling technology is applied to the casting process. The casting process has the ability to reflect complicated shapes in one process. But it has not been widely used to make a die and mold because of the poor surface quality caused by air bubbles on the surface of the casting product. In this study, the porous casting mold is fabricated from a mixture of plaster and water-soluble binder. The porous casting mold can improve the characteristics of casting products with the help of the vacuum sealed casting process. The vacuum sealed casting process is an advanced technology that removes the air bubbles between the porous casting mould and the liquid metal, thus making the surface of the casting product finer. The purpose of this paper is to develop a high quality shoe mold using porous casting mold and to apply the RP&M technology to the shoe industry.

1. 서론

소비재 산업에 있어서의 치열한 경쟁은 보다 품질 좋은 제품을, 보다 저렴한 가격으로 빠른 시일 내에 개발하여 생산하도록 생산자들을 자극하고 있으며, 리드 타임(lead time)의 감소를 산업계의 중요한 문제로 부각시키고 있다. 예를 들

어, 새로운 자동차의 개발을 위해 10년 전에는 60개월 정도의 시간이 소요되었으나, 최근에는 18개월 이하로 감소되었으며, 전자 산업의 경우 이미 신제품의 개발 주기가 1년 이하로 접어들었다.⁽¹⁾ 이와 같은 압력은 신발 산업에서도 피할 수 없는 요구이며 이러한 추세를 반영하듯 최근 들어 쾌속제품개발기술이 신발 산업에 빠른 속도로 퍼져나가고 있다.

신발은 전세계적으로 100억 켈레 이상이 매년 제작되고 있으며, 또한 일년에 두 차례 이상 신제품이 시장에 선보이는데 이는 신제품의 개발 주기가 6개월 미만임을 의미한다. 또한 신발 산업에 있어서 문제를 더욱 복잡하게 만드는 것은 한 가지 디자인의 제품에 대해 신발의 크기별로 작게는 열 종류, 많게는 스무 종류 이상의 제품이 출

[†] 책임저자, 회원, 부산대학교 정밀기계공학과

E-mail : alien@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-3210 FAX : (051)518-8442

^{*} 부산대학교 정밀기계공학과

^{**} 동서대학교 신발공학과

^{***} 경남정보대학교 신발공학부

^{****} 한국생산기술연구원 나노가공팀

^{*****} 회원, 한국생산기술연구원 나노가공팀

시된다는 점이다. 이는 한 가지 제품에 대해서 다양한 크기의 금형이 요구된다는 말이며, 신발 산업의 이러한 특징은 다른 어느 산업보다도 쾌속 금형제작기술을 적용하여 제품을 단시간에 개발 및 생산하는 것이 중요하다는 것을 의미한다. 이러한 요구에 발맞추어 신발 산업에서는 다양한 방법의 쾌속금형제작기술을 현장에 적용시켜 나가고 있다. 본 연구에서는 신발 산업으로의 적용이 가능한 쾌속금형제작기술을 개발하고, 그 기술을 이용하여 신발 금형을 제작 및 평가하여 쾌속 금형제작기술의 적용의 범위를 넓히고자 하였다.

2. 신발 산업에 있어서의 RT 기술

RP(rapid prototype) 기술은 신발 제품의 개발 단계에서 디자인을 확인하거나 마스터 모델을 제작하는데 주로 이용되고 있으며, RT(rapid tooling) 기술은 시제품 제작 및 금형의 제작에 주로 이용된다.⁽²⁻⁴⁾ RT 기술은 사용되어지는 소재에 따라 크게 소프트 툴링(soft tooling) 기술과 하드 툴링(hard tooling) 기술로 나뉘어지는데, 소프트 툴링은 시제품의 제작 과정에, 하드 툴링은 양산 금형의 제작 과정에 널리 적용되어지고 있다.⁽⁵⁾ 이 중에서 가장 널리 이용되는 RT 기술은 실리콘 고무형을 이용하는 방법이다. 대량 양산이 아닌 시제품 제작의 경우, 실리콘 고무형을 이용한 RTV(room temperature vulcanizing) 공정은 CNC 가공에 비해 빠르며, 값싸다는 장점을 가진다. 시제품의 제작에 있어서는 알루미늄 분말 혼합 에폭시형 또한 이용이 가능한데, 이 경우에는 실리콘 고무형에 비해서 필요한 시제품의 수가 많은 경우, 대략 100개 내외의 경우에 주로 사용되어지며, 이에 비해서 실리콘 고무형의 경우에는 20개 내외의 경우에 주로 적용되어진다. 한편, 알루미늄 분말이 혼합된 에폭시의 경우, 기존의 에폭시에 비해 한층 개선된 기계적 강도 및 치수 정밀도, 열전도도도 값을 갖는다.^(6,7) Fig. 1과 Table 1은 순수한 에폭시에 비해서 알루미늄 분말이 혼합된 에폭시의 특성이 향상됨을 나타내는 결과이다. 순수한 에폭시의 특성을 1로 가정했을 때, 내마모성은 1.7, 치수 정밀도는 5, 열전도도는 6.3만큼 향상된 것을 알 수 있다. 또한 이러한 금속 분말이 혼합된 에폭시의 특성을 개선하기 위하여 니켈과 같은 얇은 금속층을 도금하여 표면의 특

Table 1 Comparison of characteristics of aluminum powder filled resin with pure epoxy resin

Characteristics	Pure epoxy resin	Al powder filled resin
Amount of wear (x10-3m3)	6.95	4.77
Shrinkage rate (%)	0.85	0.17
Thermal conductivity (W/mK)	0.23	1.43

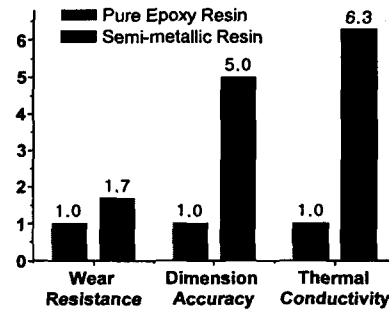


Fig. 1 Relative comparison of characteristics of Al powder filled resin with pure epoxy

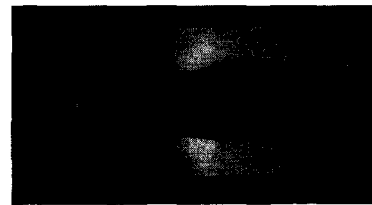


Fig. 2 Epoxy composites shoe mold

성을 향상시키는 공정 역시 적용되고 있다. Fig. 2는 신발 시제품의 제작에 적용이 가능한 니켈 도금 알루미늄 분말 혼합 에폭시형을 나타낸다.

그러나 양산에 있어서는 하드 툴링 기술을 이용한 금속 재질의 신발 금형이 적용되어진다. 1990년대 초반에는 CNC 가공에 의해 제작되어진 스틸 금형이 널리 이용되어졌으나, 금형의 쾌속 제작이라는 요구에 부응하기 위해 최근에는 일부 금형이 알루미늄 소재의 고속 가공을 이용하여 제작되고 있다. 알루미늄은 철에 비해 중량이 가볍고, 또한 열전도도가 높기 때문에 금형 제작뿐만 아니라 양산 단계에 있어서도 많은 장점을 가

진다. 따라서 고무 성형이나 사출 성형과 같이 작업 조건이 까다로운 공정이 아닌 파이론 발포 성형과 같이 작업 조건이 양호한 제품에 있어서 고속 가공에 의해 제작된 알루미늄 금형이 널리 이용되어진다. Fig. 3은 고속 가공 공정에 의해 제작되어진 알루미늄 신발 금형을 나타낸다.

일반적으로 신발 금형은 곡면이 많고, 특히 언더컷(under-cut)부분이 존재하기 때문에 절삭가공으로 제작되어질 경우 Fig. 4에 보여진 것과 같은 3단 금형의 구조를 갖게 된다. 즉, 금형의 상판과 하판은 절삭 공정에 의해 가공되고, 중판의 경우에는 방전 가공에 의해 가공이 이루어진다. 그러나 이러한 금형의 구조는 중판과 하판의 조립시 가공 오차 때문에 많은 시간을 소비하게 된다. 그러므로 최근에는 중판과 하판을 주조 공정을 이용하여 일체형으로 제작한 금형이 널리 이용되어지고 있다.



Fig. 3 Al shoe mold by high speed machining

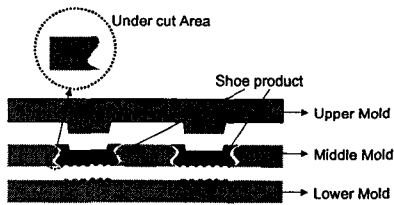


Fig. 4 Structure of shoe mold by cutting process

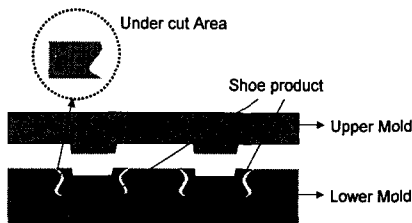
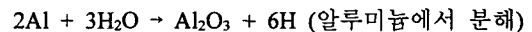


Fig. 5 Structure of shoe mold by casting process

Fig. 5는 주조 공정을 이용해 제작된 금형의 구조를 나타낸다. Fig 4와 비교해 보면, 중판과 하판이 일체형으로 이루어져 있기 때문에 절삭 가공을 이용해 제작된 금형에 비해 제작비용 및 시간을 줄일 수 있다. 그런데 주조 공정을 신발 금형의 제작 공정에 적용하는데 있어서 가장 큰 문제가 되는 것은 표면의 품질이다. 주조 공정은 용탕(molten metal)을 주형의 내부에 주입하여 원하는 형상의 제품을 얻는 공정인데, 이 과정에서 용탕 내부의 금속 성분과 주형 내부에 존재해 있는 수분이 반응을 하면서 기포를 발생시키게 된다. 철이나 동과 같이 비중이 큰 금속의 경우에는 자중에 의해 이러한 기포들이 외부로 원활히 배출되어 기포에 의한 결함이 비교적 적으나, 알루미늄과 같은 경금속의 경우 이러한 기포에 의해 유발되는 결함이 제품의 표면에 심각한 영향을 미치게 된다. 아래의 식은 알루미늄의 경우에 기포가 발생하는 과정을 나타내고 있다.⁽⁸⁾



따라서 주조 공정에 의해 제작되는 경금속의 표면 품질의 개선을 위해서는 이러한 기포들의 제거가 필수적이다. 이러한 기포들을 제거시키는 방법에는 크게 가압에 의한 방법과 감압에 의한 방법이 있다. 가압법에서는 0.5기압 정도의 압력을 용탕의 응고 과정에서 가함으로써 기포를 외부로 배출시키는 방법이고, 감압에 의한 방법은 통기도를 갖는 주형을 통해 용탕과 주형의 경계면에 존재하는 기포들을 외부로 제거시키는 방법이다. 본 연구에서는 감압법의 한 종류인 흡인주조 공정을 이용하여 저융점 합금을 이용한 시사출 금형과 알루미늄을 이용한 양산용 파이론 발포성형 금형을 제작해 보았다.

3. 통기성 주형의 제작 및 평가

3.1 통기성 주형의 제작

본 연구에서 통기성 주형의 제작에 이용한 성형 공정은 슬러리 캐스팅(slurry casting)인데, 이는 석고와 같은 주형소재용 분말, 물 그리고 수용성 바인더를 혼합하여 만든 슬러리를 간이형에 흘려 넣은 후, 경화, 건조, 탈지, 소결의 과정을 거쳐 제품을 얻는 공정이다. 슬러리 캐스팅의 공정을

Fig. 6에 나타내었다.⁽⁹⁾

먼저 마스터 모델을 제작해야 하는데, 마스터 모델의 제작에는 RP 기술을 이용한 방법을 사용할 수도 있고, 목형을 이용할 수도 있다. 진공주형을 이용한 제품의 복제 공정에는 RP 기술이 널리 쓰이는 추세이며, 비교적 크기가 큰 금형의 제작 공정에는 금형의 상형 및 하형의 분할선(parting line)이 고려되어 기계 가공된 목형이 널리 쓰이고 있다. 다음 공정은 이러한 방법으로 제작된 마스터 모델을 이용하여 실리콘 고무형을 제작하는 공정이다. 실리콘 고무는 높은 탄성과 낮은 표면에너지 때문에 간이형으로써 널리 이용되고 있는 소재이다.⁽¹⁰⁾ 특히 신발 금형의 제작에 쓰이는 주형은 언더컷 부분이 존재하기 때문에 실리콘 고무형의 제작에 유의해야만 한다. 이렇게 제작된 실리콘 고무형에 주형소재용 분말, 물, 수용성 바인더가 혼합된 슬러리를 주입하여 경화시킨다. 경화된 슬러리를 실리콘 고무형으로부터 분리해 내고, 100°C, 진공 분위기에서 건조 과정을 거쳐게 되는데, 이 과정에서 슬러리 내부에 함유되어있는 수분이 제거된다. 충분한 건조를 거친 후, 다음 공정인 탈지(debinding) 공정에 들어가게 되는데, 탈지 공정 동안에 슬러리 내부에 함유된 바인더가 제거되면서 생긴 빈자리가 기공으로 자리잡게 되어 최종적인 통기성 주형을 얻을 수 있게 된다. 최종적으로 주형으로써의 강도를 갖게 하기 위해 최소한의 온도, 대략 주조 공정에 적용될 금속의 용융 온도까지 소성을 하게 된다. 이와 같은 슬러리 캐스팅은 분말이 아닌 슬러리를 이용하여 캐스팅을 하기 때문에 표현 가능한 형상의 제한이 적고, 일반적인 분말을 사용하는 공정에 비해서 시간과 비용을 줄일 수 있다는 장점이 있다.⁽¹⁰⁾

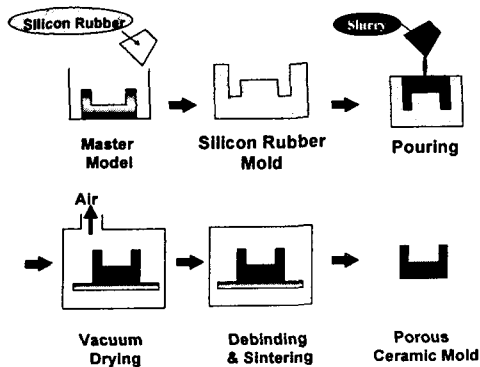


Fig. 6 Manufacturing process of slurry casting

3.2 통기성 세라믹형의 평가

본 연구에서 제작된 통기성 주형은 용탕의 응고 후에는 제거되어야만 하는 부분이다. 따라서 흡인주조를 위한 주형으로써 가져야 할 가장 중요한 요소는 기계적인 강도보다는 오히려 치수 정밀도와 전사성과 같은 요소일 것이다. 오히려 주형의 강도가 너무 높으면 제거 작업에서 주조품의 표면에 결함을 유발시킬 수도 있기 때문에 용탕의 주입 및 응고 과정을 견딜 수 있는 최소한의 강도가 가장 이상적이다. 본 연구에서는 저용점 합금과 알루미늄을 이용한 주조 공정에 적용 가능한 통기성 주형을 제작하고, 치수 정밀도, 전사성을 평가함으로써 통기성 주형의 적용 가능성과 특성을 평가해 보았다.

3.2.1 치수 정밀도

Fig. 7은 본 연구에서 통기성 주형의 치수 정밀도의 평가를 위해 사용된 시편의 전체적인 형상과 사진을 나타낸다. 치수 정밀도의 측정은 (주) 덕인에서 제작한 Probe Type의 3차원 측정기를 이용하였으며 Fig. 8에 측정된 결과를 나타내었다. Fig. 8에서 D는 시편의 직경을 측정된 결과이며, H는 단차를 나타낸다. 그리고 첨자 1,2,3,4는 각 시편의 바닥면에서의 위치를 나타내는 값들이며, 시편의 가장 아래 부분 1번을, 가장 윗 부분이 4번을 의미한다. 각 부위는 3차례에 걸쳐서 측정되었으며 수축률은 그 값의 평균값을 이용하여 구했다.

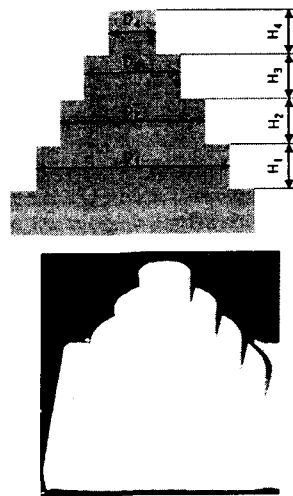


Fig. 7 Specimen for dimension accuracy

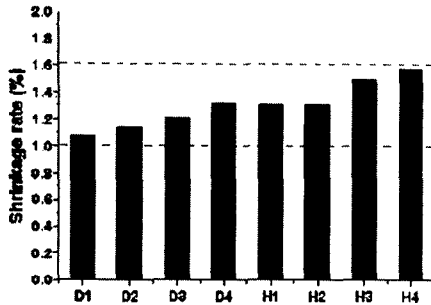


Fig. 8 Result of dimension accuracy

결과를 살펴보면, 대략적으로 1~1.6% 정도의 수축률을 나타내었다. 이러한 오차는 금형에 적용하기에는 다소 큰 수치라고 할 수 있다. 그러나 1% 이상의 오차가 발생하더라도 전체적으로 균일한 방향으로 수축된다면 설계 단계에서의 보상(Over-Design)으로 보완이 가능하다. 즉, 전체적으로는 1.6%의 수축이 발생하더라도, 설계 단계에서 목표로 하는 수치보다 1% 정도 크게 설계한다면 Fig. 9에서 보여지는 값들은 0.6% 이내로 낮출 수가 있는 것이다.

3.2.2 전사성

Fig. 9와 10은 본 연구에서 전사성의 평가를 위해 사용한 표면조도 표준시편과 흡인주조 공정을 이용해 제작된 전사성 측정시편을 각각 나타낸다. 표면조도 표준시편에는 연삭 가공 및 절삭 가공에 의해 생긴 패턴을 테스트하는 영역이 각각 존재하고 있는데, 본 논문에서는 패턴의 균일성이 우수한 절삭 영역을 선택하였다. 절삭 영역에는 Fig. 11에 보여지는 것처럼 균일한 V형상의 홈이 가공되어져 있는데, 이 V홈을 흡인주조 공정을 통해 전사시켰을 때 얼마나 유사하게 전사되는지를 비교함으로써 전사성 평가를 수행하였다. Fig. 11과 12는 그 결과를 나타내고 있는데, 그림에 표시된 25-S와 12.5-S는 표준 시편의 영역 중에서 최대 표면 거칠기값(Rmax)이 각각 25 μ m, 12.5 μ m인 부분을 나타낸다. 결과를 보면 25-S뿐만 아니라 12.5-S와 같은 미세한 패턴도 거의 유사하게 전사가 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 미세한 패턴의 전사가 가능한 이유는 흡인공정중 발생하는 흡인력이 용탕과 주형의 밀착력을 향상시키고 계면에 존재하는 기포들을 제거하기 때문이다.

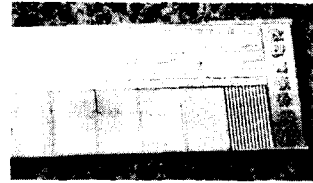


Fig. 9 Standard specimen for surface roughness



Fig. 10 Vacuum sealed casting specimen

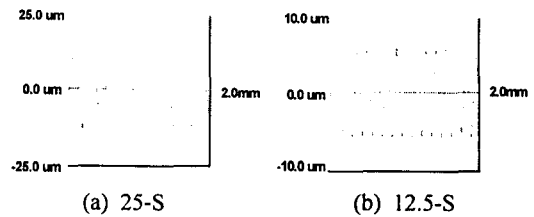


Fig. 11 Pattern shape on standard specimen

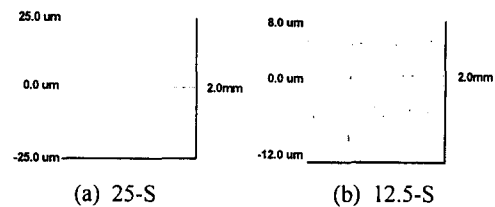


Fig. 12 Pattern shape on casting specimen

4. 흡인주조 공정으로의 적용

Fig. 13은 흡인주조 공정의 대략적인 개념도를 나타낸다. 흡인주조 공정을 적용하면 용탕 내부의 가스의 배출은 물론, 흡인주조 시 발생하는 흡인력에 의해 용탕과 주형의 계면에서의 밀착성이 향상되어 미세한 표면까지 전사할 수 있는 특성을 함께 갖기 때문에 Fig. 15에서 보여진 것과 같은 우수한 전사성을 가질 수 있다. Fig. 17에 일반주조와 흡인주조의 표면사진을 나타내었다. Fig. 14(a)는 일반주조품의 표면을 나타내는데 용탕의 응고시 발생되는 표면장력과 주조 공정시

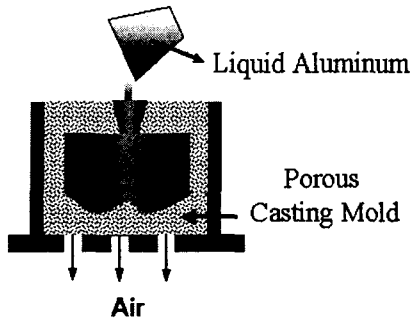
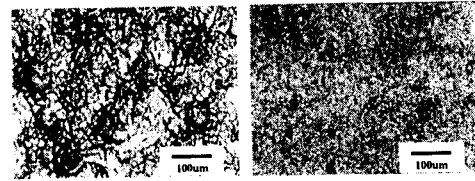


Fig. 13 Schematic diagram of vacuum sealed casting process

발생하는 기포 때문에 주조품의 표면이 나쁘다는 것을 확인할 수 있다. 반면에 Fig. 14(b)에 나타난 흡인주조품의 표면을 보면 일반주조품의 표면에 비해서 표면 품질이 상당히 양호함을 확인할 수 있다. 흡인주조의 경우 용융된 금속과 주형의 계면에 작용하는 흡인력이 표면장력을 완화시키고 또한 기포를 원활히 제거하기 때문에 양호한 표면을 얻을 수가 있는 것이다.

흡인주조 공정에서 얻을 수 있는 또 하나의 장점은 용탕의 응고 속도가 빠르다는 점이다. 그래서 본 연구에서는 일반주조 공정과 흡인주조 공정에서의 용탕의 응고 속도를 비교하였는데, 응고가 진행되는 용탕의 온도를 직접 측정하는 대신에 주형의 온도를 측정하여 간접적으로 평가하는 방법을 이용하였다. 통상적으로 주형의 소재로 사용되어지는 석고나 기타 세라믹 재료의 경우 열전도도 값이 매우 낮기 때문에 용탕의 완전 응고까지는 상당한 시간이 걸린다. 그러나 흡인주조 공정에서는 용탕의 주입과 동시에 진공펌프를 이용하여 주형 내부의 기공을 통해서 용탕과 주형 계면의 공기를 지속적으로 제거하게 되는데 이때 공기뿐만 아니라 용탕에서 발산되어 주형이 머금고 있는 열의 일부를 함께 제거하는 역할을 하기 때문에 용탕의 응고 속도를 빠르게 할 수 있다. 이와 같은 결과는 Fig. 15에서 잘 나타나고 있다. 통기성이 없는 주형을 사용하는 일반주조의 경우에는 주형으로 사용되는 석고의 열전도도 값이 매우 낮기 때문에 용탕의 주입 후 시간이 흘러도 주형의 온도 변화가 거의 없지만, 통기성 주형을 이용한 흡인주조의 경우 시간이 지남에 따라 주형의 온도가 급격히 감소함을 확인할 수 있다.



(a) Conventional casting (b) V.S.casting
Fig. 14 Comparison of the casting surface

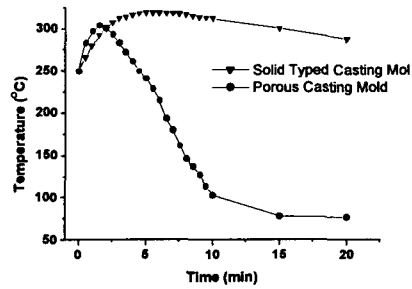


Fig. 15 Comparison of cooling time

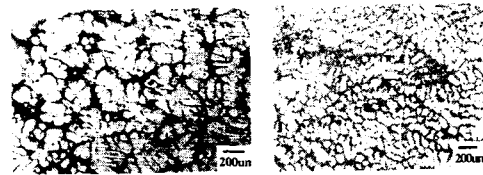


Fig. 16 Comparison of micro structures

흡인주조의 이와 같은 특성은 주조 공정의 생산성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 금형 내부에 냉각 채널을 일체화시킨, 이른바 인파이프 금형의 제작을 가능하게 한다. 아울러 빠른 응고 속도는 주조품의 미세 조직을 개선시키는 효과를 함께 가져올 수 있는데, Fig. 16에서 흡인주조품과 일반주조품의 미세 조직을 비교해 보았다.

5. 신발 금형의 제작 및 평가

5.1 저융점 합금을 이용한 신발 금형의 제작

신발 제품의 시제품의 제작에는 실리콘 고무형을 이용한 진공주형 공정이 널리 이용되고 있다. 그러나, 진공주형에 의해 제작된 시제품은 사출 공정에 의해 제작된 제품에 비해서 기계적 물성이 떨어지기 때문에 사출 제품의 기능성 평가에 문제가 될 수 있다. 따라서 최근 들어 시사출 금형의 폐속제작기술은 제품의 개발단계에서 그 중

요성이 점차로 커지고 있다. 본 논문에서는 저융점 합금을 이용하여 시사출 금형을 제작해 보았다. 저융점 합금이란 용점이 통상의 Sn-Pb합금(용점 183℃)보다 낮은 각종 합금류를 지칭하는 것으로서 본 연구에서는 용점이 150℃인 Bi-Sn 합금을 이용하였다. 본 연구에서는 이러한 소재와 흡인주조 공정을 이용하여 시사출 금형을 제작하여 사출 특성을 평가하였다. 본 실험에 사용된 사출기는 고려유압의 120ton 장비이며, 사출 재료는 폴리카보네이트(polycarbonate)를 이용하였는데, 이 재료의 원활한 사출 작업을 위해서 사출기 노즐에서의 수지 온도를 270℃에 세팅하였는데 이 온도는 저융점 합금의 용융점을 넘어서는 값이지만 금형의 표면의 온도는 사출기 노즐에서의 수지 온도보다는 많이 낮기 때문에 시사출 작업은 가능하다. 본 연구에서는 사출 시간 3초, 냉각 시간 7초의 조건으로 연속해서 10개씩, 총 100개의 시제품을 제작하고 난 후, 금형의 표면과 제품의 형상을 관찰함으로써 시사출 금형으로의 적용 가능성을 검토해 보았다. 이 실험에서 가장 중요한 인자는 금형이 받게 되는 열적 문제이므로, 인위적인 냉각수의 공급없이 자연 냉각만 발생하도록 하여 그 특성을 평가하였다. Fig. 17은 본 연구에서 제작된 시사출 금형의 사진을 나타낸다. 저융점 합금은 시사출 금형을 위한 재료로 사용 가능한 금속 분말 혼합 에폭시형보다는 열전도도 값이 높기 때문에 금형의 온도상승에 의한 제품의 수축과 같은 문제는 발생하지 않았다. 다만, 사출 작업시 사출 온도가 가장 높은 게이트 부분에서 다소 문제가 발생하였다. 게이트 부분은 용융된 액상의 수지가 금형 내부로 주입되는 출발점으로 수지의 온도가 가장 높은 부분에 해당된다. 이 부분에서 저융점 합금의 경우 게이트의 일부에서 마모가 발생하여 시간이 흐를수록 제품에서 게이트로 인해 발생하는 마모영역이 점차로 확대되는 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 금형의 게이트 부분에서의 냉각에 신경을 써야 할 것으로 생각되어지며, 우려했던 금형의 표면에서의 열적 결함은 발견되지 않아 시작형으로써 좋은 결과를 나타낼 수 있음을 확인했다. Fig. 18에서 본 실험에서 제작된 사출품의 사진을 나타내는데, 이는 신발의 외부에 사용되는 기능성 부품이며 스포트와 게이트를 제거하기 전의 모습을 나타내고 있다.



Fig. 17 Prototype mold for injection molding

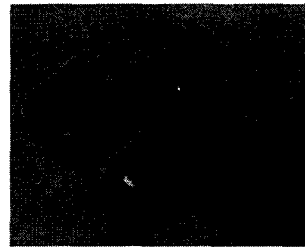


Fig. 18 Injection molding product

5.2 알루미늄 인파이프 금형의 제작

본 연구에서는 흡인주조 공정을 냉각 파이프가 일체화된 파이론 중창성형용 알루미늄 금형의 제작에 적용해 보았다. 파이론 재질의 신발 중창을 제작하기 위해서는 대략적인 신발 중창의 형태를 갖는 파이론 프리폼(phyllon freeform)이 필요하다. 파이론 프리폼을 성형용 금형에 넣은 후 금형의 상형과 하형을 닫은 후 150℃정도의 온도에서 일정 시간을 유지하면 파이론 재질이 열팽창을 하게 되고, 한 번 팽창한 파이론은 상온으로 식혀도 그 형상을 유지하게 됨으로써 원하는 제품을 얻을 수가 있는 것이다. 그런데 파이론의 성형에서 가장 중요한 요소는 금형의 가열 및 냉각이다. 금형 전체를 150℃까지 빠른 시간 내에 가열을 한 후, 다시 빠른 시간 내에 상온까지 떨어뜨려야만 생산성을 높일 수 있기 때문이다. 그래서 금형의 재질도 열전도도가 좋은 알루미늄이 주로 적용된다. Fig. 19는 현재 현장에서 가장 널리 쓰이는 파이론 성형용 신발 금형의 구조를 나타낸다. 금형의 위, 아래에 온수와 냉수를 이용하여 금형을 가열하고 냉각할 수 있는 열판이 놓이게 되는데, 재질은 알루미늄이 사용되어지며 알루미늄 판재의 내부에 채널이 가공되어 있는 형상을 갖게 된다. 그러나 열판을 사용하는 이러한 방식은 열판과 금형 사이의 공간으로의 열손실이 많

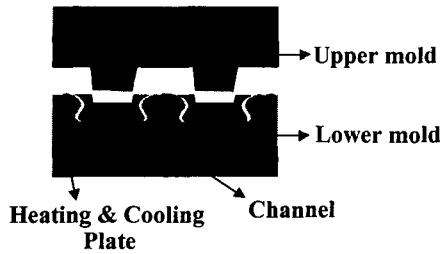


Fig. 19 Structure of conventional phylon mold

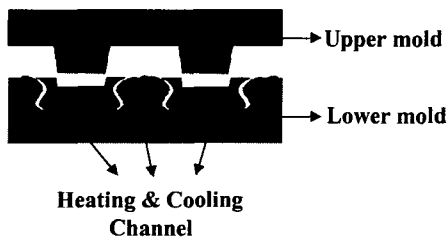
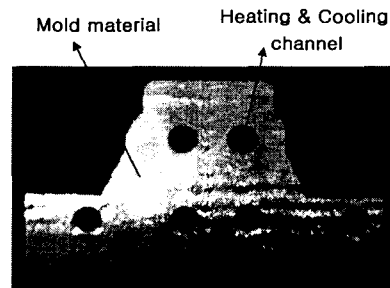


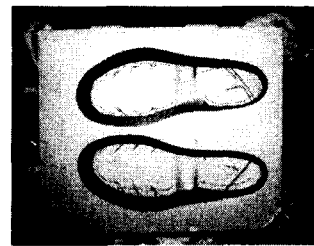
Fig. 20 Structure of in-pipe phylon mold

아서 비효율적이다. 따라서 본 연구에서는 금형의 내부에 동파이프로 이루어진 가열 및 냉각 채널을 형성시켜 열효율을 개선시켰다. 주조공정을 이용하여 알루미늄 금형 내부에 채널을 형성하기 위해서는 주조를 위한 주형 위에 적절한 위치로 동파이프를 배열하고, 그 위에 알루미늄 용탕을 붓게 된다. 일반주조 공정에서는 알루미늄 용탕에서 비롯된 높은 열과 장시간에 걸친 응고시간 때문에 동파이프가 파손되는 결과를 나타내었다.

그러나 흡인주조 공정의 경우, Fig. 15에서 보여진 결과처럼 주형의 냉각 속도가 빠르기 때문에 알루미늄 용탕의 응고 과정에서 발생할 수 있는 동파이프의 파손을 방지할 수 있었다. Fig. 20은 본 연구를 통해 개발된 파이론 재질의 신발 중창 성형용 알루미늄 금형의 구조를 도시한 그림인데, Fig. 19와 비교해 볼 때 금형의 내부에 제품과 가장 근접한 부분에 채널이 형성되어 있기 때문에 열전달 측면에서 훨씬 유리하다는 장점이 있다. 실제로 두 금형을 이용하여 생산성을 평가해 본 결과 흡인 주조공정을 이용해 제작된 인파이프 금형의 경우가 생산성의 향상을 가져올 수 있었다. Fig. 20은 본 연구에서 제작한 인파이프 금형을 나타내는 사진이며, Fig. 21은 그 금형을 이용해 제작된 제품의 사진을 나타내고 있다.



(a) Cross section : upper mold



(b) Bottom mold

Fig. 21 In-pipe mold for phylon midsole

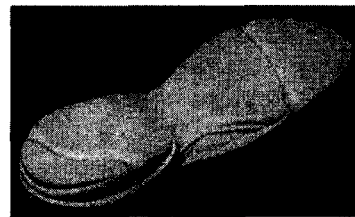


Fig. 22 Phylon midsole product

6. 결론

본 연구는 제품의 개발 주기가 짧고, 한 가지 제품에 다양한 크기의 금형을 요구하는 신발 산업의 특성상, 그 중요성이 점차로 늘어나는 쾌속 금형제작기술을 개발하고, 실제 산업에 적용해 보는 것을 목적으로 하고 있다. 본 연구에서는 기존의 주조 공정을 개선시킨 흡인주조 공정을 개발 및 평가해 보고, 최종적으로 저융점 합금을 이용한 시사출 금형과 알루미늄을 이용한 양산 금형을 제작하여 그 특성을 평가해 보았다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 흡인주조 공정에 적용하기 위해서 0.5%의

수축률을 갖는 통기성 주형을 제작하였으며, 이 통기성 주형을 이용한 흡인주조 공정을 통하여 12.5 μ m의 최대 표면 거칠기 값을 갖는 패턴을 전사해 낼 수 있었다.

(2) 통기성 주형을 이용한 흡인주조의 경우, 용탕의 응고 과정에서 발생하는 열이 공기와 함께 주형의 외부로 배출되기 때문에 응고 속도가 현저히 빠르게 되어, 보다 미세한 주조 조직을 얻을 수 있고 또한 금형의 내부에 동파이프가 삽입되어 냉각 채널 역할을 할 수 있는 인파이프 금형의 제작이 가능해 진다.

(3) 150 $^{\circ}$ C의 용점을 갖는 저융점 합금을 이용하여 시사출 금형을 제작하였고, 그 금형을 사출 온도 270 $^{\circ}$ C의 폴리카보네이트 재료의 시사출 공정에 실제로 적용시켜 본 결과, 금형의 게이트 부에서의 열적 마모를 제외하고는 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 금형의 게이트 부에 집중적인 냉각을 가한다면 시사출 금형으로의 적용이 충분히 가능할 것이다.

(4) 현재 쓰이는 파이론 성형 금형은 알루미늄판을 가공하여 만든 열판을 이용하여 금형의 가열 및 냉각을 수행하고 있지만, 본 연구에서는 동파이프가 금형의 내부에 일체형으로 제작되어 열효율을 개선시킨 금형을 제작하였으며, 기존의 금형보다 작업성이 뛰어난 것을 확인하였다.

(5) 본 연구에서 개발된 공정중에서 저융점 합금을 이용한 기술은 현재 신발 산업의 시작 금형을 위해 사용되어지고 있는 금속 분말 혼합 에폭시형을 대체할 수 있을 것으로 생각되어지며, 알루미늄 금형 제작 기술은 양산 금형의 제작에 적용되어 신발 제품의 생산성 향상에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 부산대학교의 정밀정형 및 금형가공 연구소의 지원에 의해 이루어졌으며, 본 논문에 수행된 실험을 위해 애써주신 (주)일범, 백두산업, (주)기은캐스텍 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Hilton P. D., Jacobs P. F., 2000, "Rapid Tooling Technologies and Industrial Applications," Marcel Dekker Inc. 1.
- (2) Rosochowski A., Matuszak A., 2000, "Rapid Tooling: the state of the art," *Journal of Materials Processing Technology* 106, pp. 191~198.
- (3) H. Muller, J. Sladojevic, 2001, "Rapid Tooling Approaches for Small Lot Production of Sheet-metal Parts," *Journal of Materials Processing Technology*, 115, pp. 97~103.
- (4) D. Kochan, C.C. Kai, D. Zhaohui, 1999, "Rapid Prototyping Issues in the 21st Century," *Computer in Industry* 39, pp. 3~10.
- (5) Jacobs P. F., 1996, "Stereolithography and Other RP&M Technologies," *Society of Manufacturing Engineers*.
- (6) B.S.Kim, W.B.Bae, H.D.Jeong, 2000, "Rapid Tooling by Using Metal Powder Reinforced Resin," *Transactions of the KSME, A*, Vol. 24, No. 1, pp. 1~6.
- (7) S.I. Chung, Y.G. Im, H.D.Jeong, T.Nakagawa, 2003, "The Effects of Metal Filler on the Characteristics of Casting Resin for Semi-metallic Soft Tools," *Journal of Materials Processing Technology* 134 pp. 26~34.
- (8) Richard W. Heine, Carl R. Loper Jr., Philip C. Rorenthal, 1967, "Principles of Metal Casting," McGraw-Hill, pp. 259~291.
- (9) S.I. Chung, Y.G. Im, K.L. Kim, H.D. Jeong, K.K. Cho, D.S. Jeong, D.K. Kim, 2002, "Rapid Fabrication of Aluminum Shoe Mold Using Vacuum Sealed Casting," *the 35th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, pp. 243~248.
- (10) Nakagawa Takeo, 1998, "Rapid Prototyping System New Development of 3D Replica Technology," (Translated by H.D. Jeong), Seong An Dang Inc, Seoul.