

금형 소재용 다공질 재료의 개발과 특성 평가

박선준[#], 정성일^{*}, 임용관^{**}, 정해도^{***}, 이석우^{****}, 최현종^{****}

Development and Evaluation of the Characteristics of Porous Materials for a Mold

Sunjoon Park[#], Sungil Chung^{*}, Yonggwon Im^{**}, Heado Jeong^{***}, Seckwoo Lee^{****}, Honzong Choi^{****}

ABSTRACT

At the large-sized mold for injection molding, the remaining gas in the mold causes some problems with final products. In order to solve these problems, air-bent was drilled on the surface of mold. However, this method leaves the scar on the surface of a product. Therefore, porous material was developed to the removal of remaining gas in this study. Porcerax II, which is a commercialized porous material, were developed in USA. It requires the electric discharge machining(EDM) process to make pores on the surface of the materials. The electric discharge machining (EDM) process, however, cause the increase of the time and cost for the fabrication of the mold. In this study, high speed machining(HSM) process was applied to the fabrication of porous mold without electric discharge machining(EDM) process. Some characteristics of the developed materials machined by high speed machining(HSM) and electric discharge machining(EDM) including air-permeability and porosity were compared with those of Porcerax II. Besides, in order to be applied to the molding process, hardness and tensile & yield strength were compared between Porcerax II and developed materials.

Key Words : Porous Material (다공질 재료), High Speed Machining (고속가공), Electric Discharge Machining (방전가공), Hardness(경도), Tensile & Yield Strength(인장 · 항복강도)

1. 서론

현재의 사출 가공 공정에 있어서, 대형 사출물의 경우에는 웰드 라인(Weld line), 싱크 마크(Sink mark), 흑줄(Black streak), 기포(Void), 핀 홀(Pin hole) 등의 결함을 가질 가능성이 높다. 이러한 결함들은 금형 내부에 잔류하는 가스에 의한 경우일

가능성이 높다. 금형의 이러한 결함들을 제거하기 위해서 많은 연구들이 진행되고 있다.^{1,2} 그중에서 현재까지는 금형의 내부에 에어 벤트 역할을 할 수 있도록 미세한 홀을 가공하여 잔류 가스를 배출시키는 방법이 널리 이용되고 있다. 그러나 이러한 미세한 홀을 이용하는 방법은 금형의 제작 비용을 증가시킬 뿐만 아니라, 성형품의 형상이 복잡하면

접수일: 2003년 9월 29일; 게재승인일: 2004년 3월 12일

[#] 교신저자, 부산대학교 정밀기계공학과

E-mail sosachol@pusan.ac.kr Tel. (051) 510-3210

^{*} LG 생산기술원 자동화기술그룹

^{**} 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

^{***} 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소

^{****} 한국생산기술연구원

가공하기가 곤란하며, 또한 성형 후에 성형품에 잔류 형상을 남기게 되어 최종적으로 제품의 품질을 떨어뜨리게 된다. 한편 신발 금형의 경우에는 금형 전체를 분말의 소결 공정을 이용하여 제작함으로써 통기성을 갖도록 하는 공정이 개발되었는데, 이러한 공정은 에어 벤트를 가공하지 않고 금형 전체를 소결하여 제작함으로써 획기적이라고 할 수 있으나 금형 전체를 소결시키는 과정에서 발생할 수 있는 수축으로 인하여 치수정밀도에 문제가 생길 수 있다.³

이에 본 연구에서는 대형 성형품의 사출 공정에 있어서 잔류 가스 또는 사출 압력의 저하에 의해 불량률이 생기는 부위에 다공질 소재를 부분적으로 사용함으로써 앞서 제기된 문제점들을 해결해 보고자 한다. 현재 상용화되어 있는 다공질 소재로써 PORCERAX II 라는 소재가 있는데 이 소재는 합금강 분말로 소결된 소재로써 소결체 내부에 평균 기공이 3, 7, 20 micron 의 3부분으로 분포되어 있으며 25%의 기공률을 가지고 있고, 또한 35 ~ 40 HRC의 경도를 가지고 있는 것으로 알려져 있다.⁵ 그러나 이 소재를 금형의 일부에 적용시킬 때 기공을 형성시키기 위한 방편으로 방전 가공(EDM) 공정을 거치게 된다. 그러나 일반적으로 사출금형을 제작할 때는 방전 가공(EDM) 공정을 거치지 않고 고속가공을 이용하여 제작하게 되는데, 이런 사출 금형 제조 공정 중에 방전 가공(EDM)공정이 추가되게 되면 전체적인 금형 제작 시간과 비용의 상승을 초래한다. 따라서 본 연구에서는 방전 가공(EDM)을 거치지 않고, 사출 금형의 제작에 널리 이용되고 있는 고속 가공에 의해서 기공의 형성이 가능한 통기성 소재를 개발하고자 한다. 개발될 소재는 평균 입경 80, 120, 200 micron 의 스테인레스 분말을 소결시켜 각각의 시편을 제작하고, 이 각각의 시편에 대해 방전 가공(HDM)과 고속 가공(HSM)을 이용하여 기공을 형성시킨 후, 각각의 소재에 대해 통기도와 기공 평균 직경을 평가하여 기존의 PORCERAX II와 비교 평가하였다. 또한 실제 금형 공정에 적용시키기 위해서는 실제 금형 공정에 사용되고 있는 기존 소재의 기계적인 물성치, 즉 강도(Strength), 경도(Hardness)등을 비교해야 할 필요성이 대두된다. 이에 본 연구에서는 기존 소재와 개발 소재의 경도(Hardness) 및 인장강도(Tensile Strength)와 항복강도(Yield Strength)를 비교 분석하였다.

2. 시편제작과 실험방법

2.1 Sintering 시편의 제작

본 실험에 사용된 시편은 평균 80, 120, 200 micron의 입자 크기를 가진 스테인레스 금속 분말을 이용하여 직경 45mm, 높이 50mm의 크기의 원기둥 형태로 소결하여 제작하였다. 소결 공정시 소결 온도는 1240℃, 소결시간은 1hr로 유지했다. 소결 공정시 소결 압력은 7.84 ~ 9.81 MPa의 범위 내에서 조절하였다. 이렇게 제작된 각각의 시편을 다시 23×23×6mm의 형상으로 재가공하여 측정시편으로 사용하였다. Fig. 1 에는 개발 소재의 시편의 소결 직후의 표면 상태를 관찰하기 위하여 시편 표면을 SEM으로 ×400 로 촬영하여 비교한 것이다. 소결된 입자의 크기에 따라 기공이 확연히 커짐을 볼 수 있다.

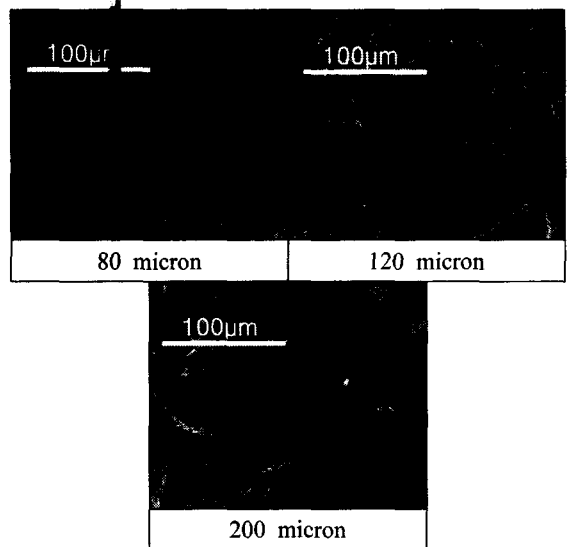


Fig. 1 SEM image of surface by sintering

2.2 고속가공 (High Speed Machining)

기존의 Porcerax II는 방전가공에 의해 표면 기공을 형성시킨다. 본 연구에서는 금형 가공시 방전 가공 공정이 들어가게 되면 시간과 가공 비용이 상승하게 되므로 이를 대체하기 위한 방편으로 고속 가공을 적용시켜 보고자 하였다. 이에 본 실험에서는 10,000rpm 과 5,000rpm으로 나누어 각각의 소재를 고속 가공하여 방전 가공한 시편과 비교하여 특성을 평가하고자 하였다. 본 고속 가공 실험에 사

용된 장비와 조건은 Table 1과 같다. Fig. 2에 나타나 있는 그림은 10,000 rpm으로 가공된 각각의 시편의 SEM 이미지를 나타낸다. Fig. 2를 보면 200 micron의 시편은 큼직한 기공이 분포되어 있음을 볼 수 있지만, 나머지 80, 120과 기존 소재는 기공의 크기가 비슷한 것들이 간헐적으로 분포되어 있음을 볼 수 있다. 이를 토대로 한다면 소결 입자를 적절히 선택할 경우에는 방전 가공 없이 고속 가공만으로도 충분히 기공을 형성 시킬 수 있음을 알 수 있다.

Table 1 Experimental conditions for HSM

Name of Machine	Micron(UCP710)
Feed Rate	1,000mm/min(10,000rpm)
	500mm/min(5000rpm)
Depth	0.15mm
Material of tool	TRALN
Diameter of tool	10mm
Pitch	9mm
Lubrication	oil mist

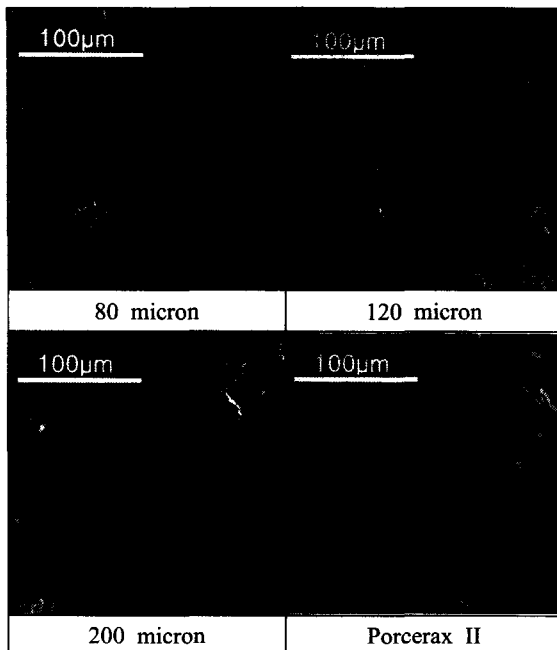


Fig. 2 SEM image of surface in developed materials and Porcerax II by HSM

2.3 방전가공 (Electric Discharge Machining)

기존의 Porcerax II 와 비교하기 위하여 개발된 시편도 방전 가공을 하여 고속 가공과 비교를 하였다. 기존 소재가 방전가공에 의해서만 기공을 형성시켰기 때문에 본 연구에서는 방전 가공을 거치지 않고 고속 가공만으로도 기공을 형성시키고자 하였다. 이에 앞서 개발된 소재 또한 방전 가공을 해 봄으로써 고속 가공과의 차이를 알아보려고 한다.

방전 가공시의 장비와 가공 조건은 아래 Table 2 에 나타나 있다. 방전 가공은 시편을 23×23×6mm 의 형상으로 가공하여 Rmax 10 µ m로 방전 가공하였다. 방전 가공은 양쪽 표면 모두 실시하였다. 아래 Fig. 3은 방전 가공후의 시편 표면을 SEM으로 촬영한 것이다. 고속가공과 기공의 크기를 비교하기 위하여 방전 가공 시편 또한 ×400으로 촬영하였다. 기존 소재의 경우는 방전 가공을 하고 난 후 기공이 크게 형성되어 있음을 볼 수 있다. 이에 개발 소재는 이미지를 육안 상으로만 보면 기공의 크고 작음을 쉽게 판별하기 어렵다. 하지만 표면에 많은 기공이 전반적으로 넓게 형성되어 있음을 볼 수 있다.

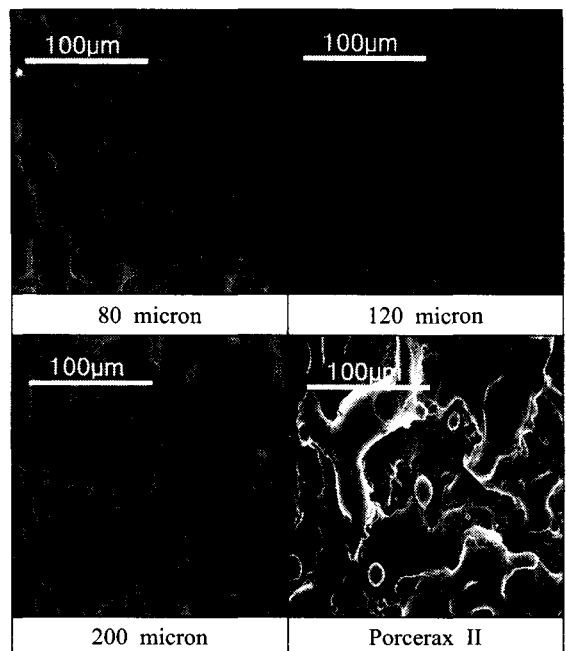


Fig. 3 SEM image of surface in developed materials and Porcerax II by EDM

Table 2 Experimental conditions for EDM

Name of Machine	MAKINO 43S
Material of pole	Cu
Gap	0.02mm
Oil of EDM	Koton 600 by HOUGHTON
Viscosity of EDM	2.4 cSt (40℃)

3. 가공에 따른 특성 평가

3.1 통기도 측정

통기도의 측정은 Fig. 4에 나오는 장치를 이용하여 측정하였다. 이 통기도 실험 장치의 원리는 장치 내부에 시편을 고정시키고 압력 게이지를 장착하여 외부에서 진공 펌프로 진공을 걸어 주게 되면, 시편의 기공을 통해 통과하는 공기에 의해 변하는 내부의 압력을 측정하여 통기도를 측정하였다.³ 우선 23×23×6mm으로 가공된 시편을 Fig. 4와 같이 진공 흡입구에 위치시키고 경계 부분을 실링시킨다. 그리고 외부에서 진공 펌프로 진공을 걸어 주게 되면 1000cc의 내부 공기가 시편을 통과하여 서서히 제거된다. 이 때, 진공 게이지 값이 -760mmHg까지 떨어지게 되는데, 이 때까지의 시간을 총 측정 시간으로 하고 진공을 걸어준 직후부터 일정 간격으로 내부 압력의 변화를 측정하였다. 통기도 측정 실험 시간은 5분 동안 측정하였으며 측정 간격은 1분간으로 하였다. 총 실험 회수를 3번으로 하여 평균값으로 데이터를 산출 하였다. 기존 소재와 개발 소재 80, 120, 200 micron을 아무 가공을 거치지 않았을 때와, 고속 가공을 하고 난 후, 방전 가공을 하고 난 후로 해서 3가지로 통기도를 측정 하였다. 그런데 아무 가공을 하지 않은 시편의 경우는 진공 압력 게이지가 거의 떨어지지 않았는데 이는 가공을 하지 않았기 때문에 표면 기공이 잘 형성되지 않았기 때문으로 사료된다. 따라서 여기서는 고속 가공을 거친 시편과 방전 가공을 거친 시편의 측정 결과를 비교 분석해 보고자 한다.

3.1.1 고속가공 시편의 통기도

고속 가공 시편의 통기도 비교 그래프는 Fig. 5와 같다. 여기서 개발 소재는 10000 rpm 으로 가공

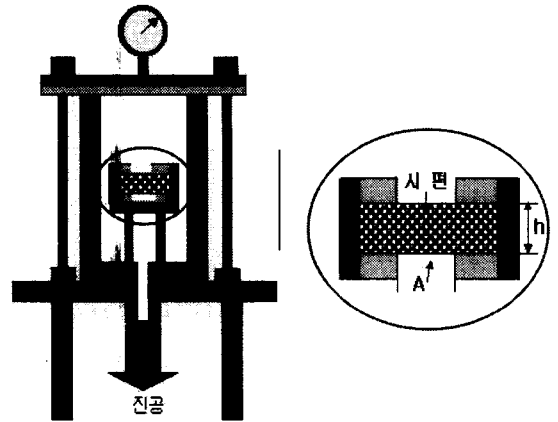


Fig. 4 Schematic of equipment for air-permeability

한 시편의 측정 데이터를 이용하여 산출하였다. Fig. 5의 그래프를 보면 입자가 작은 80 micron의 소재는 기존 Porcerax II 시편보다 통기도가 많이 떨어짐을 볼 수 있다. 이는 표면 기공의 크기는 비슷하지만 내부의 기공률이 차이가 나는 것에 기인한 결과로 보인다. 하지만, 120, 200 micron의 시편은 기존 시편보다 통기도가 좋음을 확인할 수 있다. 그 중에서도 200 micron의 시편은 월등히 뛰어난 것을 볼 수 있다. 이는 Fig. 2의 SEM 이미지에서도 볼 수 있듯이 200 micron의 시편은 고속 가공을 하

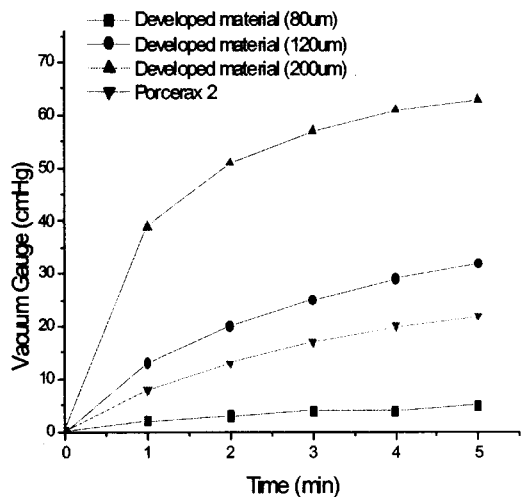


Fig. 5 Comparison of Air-permeability between developed material and Porcerax II after HSM

여도 표면에 기공이 크게 형성됨을 볼 수 있다. 이는 적절한 소결 입자를 선택한다면 방전 가공 없이 고속가공 만으로도 기공 형성이 충분히 가능함을 말해준다. 그러므로 적절한 크기의 소결 소재를 선택하는 것이 중요하다.

3.1.2 방전가공 시편의 통기도

방전가공 시편의 통기도 비교 그래프는 Fig. 6 과 같다. 이를 고속 가공후의 통기도 그래프와 비교를 해보면 방전가공 후의 통기도가 월등히 좋을 수 있다. 그러나 Fig. 6의 방전 가공 후의 통기도 그래프를 보면 80, 120 micron의 소재가 기존의 소재가 별다른 차이가 없음을 알 수 있다. 그렇다면 방전 가공으로서의 이점이 그리 크지 않다는 것을 알 수 있다. 그러나 고속 가공과 마찬가지로 방전 가공에서도 200 micron의 개발 소재는 월등히 통기도가 좋을 수 있다. 이는 200 micron의 소재가 방전 가공이든 고속 가공이든 상관없이 통기도가 월등함을 알 수 있다. 따라서 방전 가공을 이용한 기공 형성 과정에서는 200 micron의 개발 소재를 제외하면, 80, 120의 기존 소재에 대한 방전 가공이 고속 가공에 비해 별다른 이점이 없으므로 판명된다. 따라서 소결 입자가 커질수록 방전 가공을 거치지 않고 고속 가공만으로도 충분히 기공 형성을 할 수 있다고 하겠다. 그러나 소결 입자

가 커짐으로 인해서 강도나 경도가 떨어지는 현상이 발생하는 것은 자명해 보인다. 따라서 적절한 소결 입자를 선택하거나, 기존 소재처럼 한 가지가 아닌 여러 가지 소결 소재를 이용하는 것도 한 방법이라 할 수 있다.

3.2 기공 평균 직경 측정

기공 평균 직경은 Automated Mercury Porosimeter라는 장비를 이용하여 측정하였다. 측정 원리는 많은 물질에 대해 non-wetting한 독특한 수은의 성질을 이용하여, 외부에서 적절한 압력을 가해 시료가 가지고 있는 기공 내부에 은을 관입(Intrusion)시켜 그 관입된 양으로부터 근거하여 총 기공의 부피, 기공의 크기 및 분포, 기공의 표면적, 밀도, % 기공률 등을 구하게 된다.⁸ 여기서는 Pore Diameter (um)를 X축으로 잡고 Pore Volume(uL/g)을 Y축으로 잡아서 어떤 크기의 기공들이 많이 분포되어 있는지를 그래프로 산출하였다. 측정 데이터로부터 비교 그래프는 Fig. 7과 같다. 이를 보면 각각의 그래프 마다 특히 높은 Pore volume을 나타내는 부분들이 있는데 이 부분에 균질한 기공이 많이 분포되어 있음을 알 수 있다. 이를 토대로 하면 개발된 소재가 한 가지 소재로 제조되었음을 여실히 증명해 준다.

개발된 소재 중에서 80 micron은 평균 1μ m정

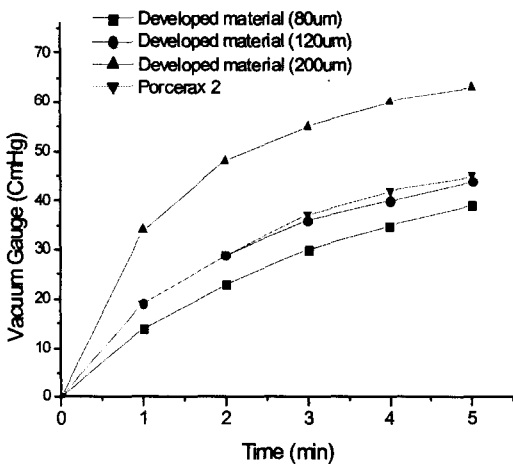


Fig. 6 Comparison of Air-permeability between developed material and Porcerax II after EDM

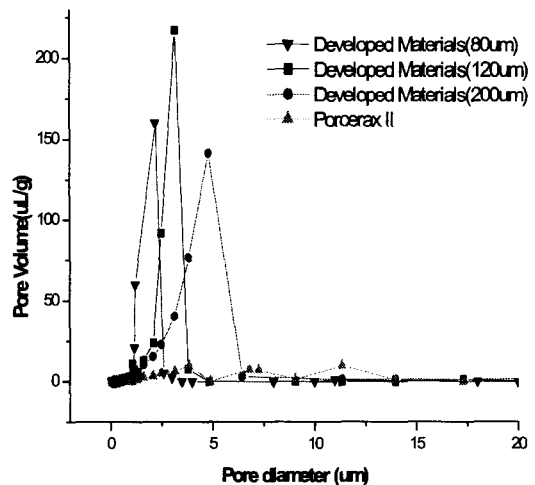


Fig. 7 Comparison of porosity between developed material and Porcerax II

도의 기공 직경을 가지고 있고, 120 micron은 평균 2.8 μ m 정도의 기공 직경을 가지고 있고, 200 micron은 평균 4.0 μ m의 기공 직경을 가지고 있음을 볼 수 있다. 또한 이 Fig. 7을 토대로 하면 개발 소재는 소결 입자가 클수록 기공률이 커짐을 알 수 있다. 그러나 기존의 Porcerax II는 기공이 균질하게 분포되어 있지 않고, 3군데 정도의 튀는 부분이 있음을 볼 수 있다. 이는 기존의 소재가 단일 소재로 제조되지 않았음을 유추할 수 있다. 기존의 소재는 평균 6.5 μ m의 평균 기공 직경을 가지고 있는 것으로 나타나는데 3 μ m 부분과 12 μ m의 평균 기공 직경을 가진 부분도 있기 때문에 전체적인 평균 기공 직경이 6.5 μ m로 나옴을 알 수 있다.

3.3 경도 측정

실제 금형으로의 적용을 위해서는 기존 소재와의 경도 비교가 필요하다. 이는 실제 금형 공정에서 일부분을 개발된 다공질 소재로 사용할 경우 경도가 낮게 되면 금형의 수명을 단축시킬 소지가 있기 때문이다. 일반적으로 소결 입자가 클수록 경도가 낮아지는 것은 사실이지만, 본 연구에서 개발된 소재가 기존 소재와 얼마나 큰 차이를 보이는가를 평가해 보기로 하였다.

일반적으로 소결 금속의 경도 측정에 대해서는 규격이 정해져 있지 않으며 재질에 따라 로크웰(Rockwell)경도의 A, B, F 및 H scale이 사용되기도 하고, 비커스(Vickers)경도기나 브리넬(Brinell)경도기가 사용되기도 한다. 여기서는 비커스 경도기의 B와 F scale을 사용하기로 하였다. 경도 측정 장비는 Matsuzawa MV-1로 비커스 경도기를 사용하였다. 본 연구에서의 측정은 표면 경도를 5번 측정하여 평균값으로 산출하였다. 기존 소재는 HRB 단위로 측정하였고, 개발 소재는 HRF 단위로 측정하였다. 이렇게 측정된 측정값은 Fig. 8과 같다. 여기서 기존 소재와 개발된 소재의 비교를 위해서 기존 소재의 측정단위를 HRF 단위로 환산하여 표기되었다.

이 결과를 보면 개발된 소재가 일반 금형의 경도보다 매우 낮음을 알 수 있다. 그러나, 여기서는 기존의 금형 공정에서 사용되고 있는 Porcerax II에 비해서 개발 소재의 경도가 얼마만큼의 차이가 있는지를 알아보려고 하였다. Fig. 8을 보면 기존 소재의 경도가 개발 소재보다 1.5 ~ 2배 정도 높음을 볼 수 있다. 이는 개발 소재의 경우, 입자가 클

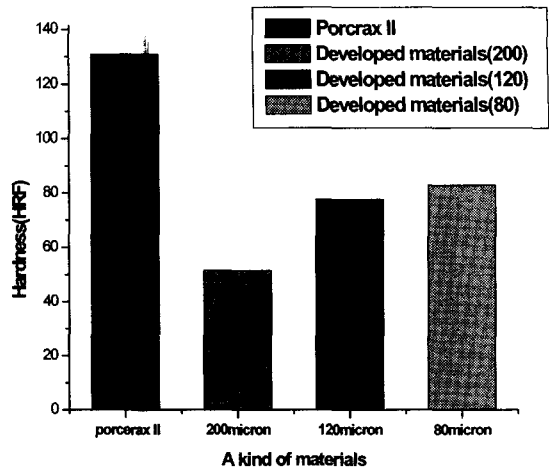


Fig. 8 Comparison of Hardness between developed material and Porcerax II

수록 결합력이 약하므로 입자 크기에 따라 경도의 경향이 확연하게 차이가 남을 볼 수 있었고, 기존 소재의 경우는 평균 3, 7, 20 μ m의 기공을 가지고 있는 것으로 보아 3가지 이상의 다른 크기의 소재로 소결되었음을 말해준다. 그렇기 때문에 단일 크기로 만들어진 개발 소재보다는 경도가 큼을 알 수 있다. 또한 이는 재료의 차이로도 볼 수 있는데, Porcerax II의 경우는 금형강인 반면에, 개발 소재는 스테인레스 분말을 사용하여 만들어졌기 때문에 이런 결과가 나타난 것으로 보인다.

3.4 강도 측정

경도 측정과 마찬가지로 개발 소재가 실제 금형 재료로 적용되기 위해서는 강도의 비교 분석이 필요하다. 금형을 제작한다는 것은 대량 생산을 의미하는 것이다.³⁾ 그런데 그런 금형의 일부에 쓰일 다공질 재료의 강도가 약하게 되면 금형의 제작 주기가 빨라지게 되기 때문에 기존에 목적으로 했던 생산성 향상을 기대할 수 없다. 이에 본 연구에서는 실제 금형 공정에 적용되고 있는 기존 소재와 개발 소재의 최종 강도와 항복 강도를 비교 평가하여 개발 소재가 금형 공정에 적용될 수 있는지를 판단해 보기로 하였다.

Fig. 9는 강도 측정에 사용된 시편의 형상이다. 강도의 측정은 10t 만능 시험기(Universal Testing



Fig. 9 Specimen of the test for Ultimate & Yield Strength

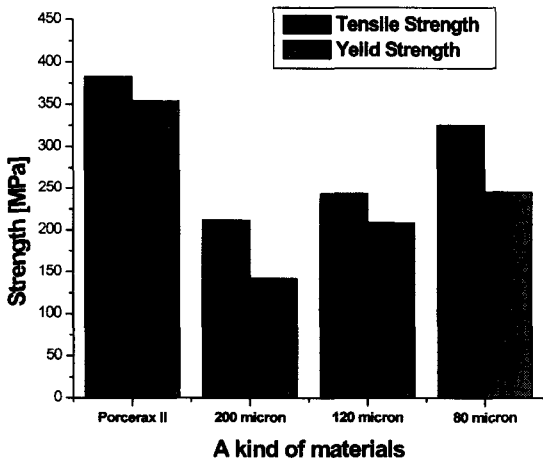


Fig. 10 Comparison of Tensile & Yield Strength between developed material and Porcerax II

Machine, UTM)을 사용하였다. 로드셀은 3,000 lbf를 주었다. 신장계는 표점거리 25/50 mm로 하여 측정하였고, 크로스헤드 속도는 10mm/s로 주었다.

Fig. 10은 각각의 시편의 인장 강도와 항복 강도를 측정하여 나타낸 그래프이다. 이 Fig. 10을 보면 소재 모두 인장 강도가 항복 강도 보다 조금 크고, 또한 인장 강도와 항복 강도 모두 기존의 소재가 개발소재보다 컸다. 하지만 개발 소재 중에서 80 micron의 소재는 기존의 소재보다는 작기는 하지만, 충분한 인장 강도와 항복 강도를 가지고 있었다. 기존 소재의 경우는 업체에서 제시하는 평균 인장 강도가 430 ~ 478MPa 정도이지만 실제 실험

에서는 383MPa 정도가 나왔다. 이 Fig.10을 토대로 본다면, 경도 측정에서와 마찬가지로 개발 소재의 강도 측정에 있어서도, 입자의 크기에 따라 강도의 크기가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 적절한 크기의 소결 소재를 선택함으로써 기존 소재에 대응하는 강도를 가진 소재 개발이 가능함을 보여준다.

4. 결론

본 연구에서는 실제 금형 공정에서 적용되고 있는 기존 소재가 방전 가공에 의해서 기공을 형성시키고 있어서, 가공 시간과 비용의 증가를 초래하는데 대해 고속 가공만으로도 기공을 형성시킬 수 있음을 밝히고자 하였다. 또한 이에 개발 소재가 80, 120, 200 micron의 스테인레스 분말로 소결되었기 때문에 강도와 경도에 문제가 없는지를 평가하였다.

첫 번째로, 기존의 소재를 고속 가공으로 가공했을 때는 방전 가공으로 가공했을 때보다 통기도가 절반으로 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 개발 소재는 80 micron의 소재를 제외하고는 고속 가공과 방전 가공 모두 양호한 통기성을 보였다. 이는 방전 가공 없이 고속 가공만으로도 다공질 소재의 기공을 형성시킬 수 있음을 말해준다.

두 번째로 기공 평균 직경 측면에서는 개발된 다공질 소재가 소결 입자의 크기에 비례하여 기공 평균 직경을 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 개발된 소재가 기존 소재보다 낮은 평균 기공 입경을 가지고 있는데, 이는 개발된 소재가 스테인레스 분말 한 가지로만 제작되었기 때문인 것으로 사료되고, 기존 소재는 3가지 이상의 금형강으로 제작되었기 때문인 것으로 사료된다.

세 번째로 실제 금형에 적용시키기 위한 기계적 물성치 측정에서는 기존 소재가 개발 소재보다 전반적으로 높은 강도와 경도를 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 개발 소재 중에서 80 micron의 소재는 기존 소재에 조금 못 미치는 것은 하지만 충분한 경도와 강도를 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 이를 토대로 한다면 소결 입자의 크기에 따라 다르긴 하지만, 적절한 크기의 입자를 선택하여 소결하게 되면, 기존 소재처럼 방전 가공을 하지 않고도 고속 가공만으로 충분히 통기도를 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

이상을 토대로 종합해보면, 개발 소재는 단일

평균 입경을 가진 소결 소재를 이용하였고, 단일 형태의 스테인레스 분말만을 사용하여 제작되었으나, 기존 소재는 3가지 이상의 평균 기공 직경을 가진 소결 소재를 사용하였고, 개발 소재처럼 단일 소결 소재로만 만들어진 것이 아님을 알 수 있었다. 따라서 개발 소재를, 기존 소재와 같이 다양한 크기의 소결 소재 혼합하여 제조하거나, 다양한 종류의 소결 소재를 혼합하여 제조하는 방법을 적절히 이용하게 된다면, 기계적 물성치도 좋고, 방전 가공이 아닌 고속가공만으로도 충분히 기공을 형성시킬 수 있는 소재를 만들 수 있음을 알 수 있다.

후 기

본 연구에 도움을 주신 현대자동차 금형기술개발팀에 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

1. Joe, W.S., "Skill of mold design for injection molding," Gijeon-Sa, pp. 256 - 270, 2001.
2. Lee, J. I., "Theory of injection molding," Iljin-sa, pp. 209 - 218, 1995.
3. Kim, K. L., Chung, S. I., Jeong, H. D., Lee, S. W., Choi, H. Z., Park, Y. J., Park, J. S., "A Study of Rapid Tooling of Porous Metal Mold," Korean Society of Precision Engineering, pp. 92 - 97, 2003.
4. Im, Y. G., Choung, S. I., Jeong, H. D., "Study on Vacuum Casting and Cu Infiltration Powder Casting for Rapid Tooling," Journal of Korean Powder Metallurgy Institute Vol. 7, No.2, pp. 102 - 106, 2000.
5. Schey, John A., "Introduction to Manufacturing Process," McGraw-Hill, pp. 453 - 455, 2000.
6. Ostwald, Phillip F., Munoz, Jairo, "Manufacturing Process and Systems," JOHN WILEY & SONS, pp. 27 - 32, 1998.
7. <http://www.moldsteel.com>
8. <http://ciak.kyungnam.ac.kr>