

스테인레스계열(17-4PH, 316L, 440C) 분말을 이용한 Dental Scaler Tip 분말사출금형 개발

고영배¹ · 김종선¹ · 황철진[#]

Development of Powder Injection Mold for Dental Scaler Tip Using Stainless Series Powder

Y. B. Ko, J. S. Kim, C. J. Hwang

(Received November 16, 2006)

Abstract

Powder injection molding(PIM) is widely used for many parts in the field of automotives, electronics and medical industries, due to the capability of net shaping for complex 3-D geometry. Powder injection mold design for the dental scaler tip, a component of medical appliance, was presented. In comparison with conventional machining process, powder injection molding has many advantages, specially in price and dimensional stability, for molding dental scaler tip which has complex geometry. Both product design and mold design for dental scaler tip were presented. A PIM feedstock was made of stainless series(17-4PH, 316L, 440C) powder and a wax based binder. The "rapid mold" concept was applied to manufacture the various forms and materials of dental scaler tip including vibration characteristics.

Key Words : Dental Scaler Tip, Powder Injection Molding, Injection Molding, Mold Design, Powder/Binder Mixture, Vibrational Characteristics, Impedance

1. 서 론

치과에서는 치아의 치석 제거 및 치료용 도구로 초음파 방식의 스케일러를 사용하고 있다. 이 장비는 초음파를 이용하여 스케일러장비에 장착된 스케일러 팁(Scaler Tip)을 진동시켜 치아 표면으로부터 치석을 파쇄하여 탈거시키고, 세척수 또는 공기를 토출 분사하여 치료부위가 잘 드러나도록 하는 치아 수술용 도구로 넓게 사용되고 있다.

본 연구에서는 기존의 스케일러 팁의 형상 정밀도 및 복잡성으로 인하여 기계가공방식을 채택하고 있어 발생하는 다양한 문제점을 극복하고자

분말사출성형방식을 채택하고자 하며, 이를 위해 스테인레스 계열(STS 316L, STS 17-4PH) 재료를 사용하여 금형제작 및 분말사출성형을 적용하여 시사출하였고, 제작된 스케일러 팁의 성능 평가를 위하여 진동특성을 파악하였다.

2. 금형설계를 고려한 제품설계

기존의 제품은 소재에 여러 단계의 절삭공정을 통하여 제품외형과 내부 유체관로를 가공한 후 스케일러 팁 곡선부 형성을 위한 굽힘가공과, 제품 표면을 처리하기 위한 연마작업등을 통하여 제조되고 있다. 따라서 생산성이 미비하고 절삭에

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀
교신저자: 한국생산기술연구원 정밀금형팀,
E-mail: cjhwang@kitech.re.kr

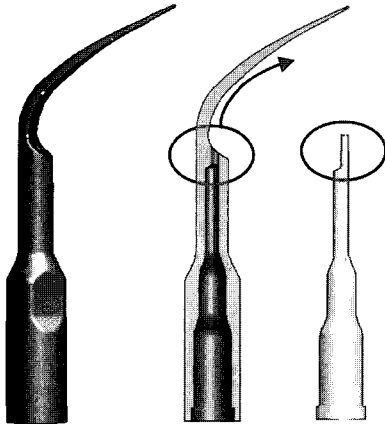


Fig. 1 Final design of dental scaler tip

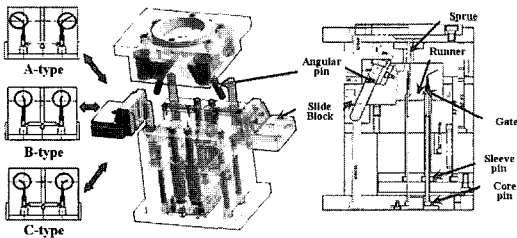


Fig. 2 Detail scaler tip mold of 2D/3D drawing

의한 가공 특성상 스크랩으로 인한 재료손실이 많이 발생하여 제조원가가 고가로 되는 문제점이 있었다. 또한, 기계가공에 의존하는 관계로 미세직경의 유체관로의 가공이 어려워 불량 발생률이 높으며 경사가 형성되는 미세 직경 토출구의 별도 정밀가공이 필요하고, 일정각도를 유지하는 토출구가공이 되지 않았을 때는 공급수 분사방향이 맞지 않아 시술작업에 지장을 주는 문제점이 있었다.

본 연구에서는 스케일러 팁의 기능을 토대로 제품의 기능 향상 및 분말사출용금형 제작을 위한 스케일러 팁의 제품설계를 진행하였다. 기본적인 제품 요구사항은 장비와의 체결을 위하여 공급수의 입구측에 나사가공을 위한 살두께를 유지해야하며, 또한, 제품의 크기가 작은 의료용 장비이기 때문에 보관 및 장비 체결 시 회전 방지를 위한 단면 형상은 유지 되어야 한다. 따라서 이러한 요구사항을 고려한 스케일러 팁 제품의 기능 및 디자인 개선을 제품설계에 반영하고 분말사출용금형을 통한 제품생산을 위한 금형설계도 같이 고려하여 진행하였다. Fig. 1에 최종적으로 설계된 제품 형상을 보여주고 있다.

3. 치과용 스케일러 팁의 분말사출 금형설계

스케일러 팁의 기능을 바탕으로 제품의 기능 향상 및 분말사출용 금형 제작을 위한 스케일러 팁의 제품설계를 진행하였다. 기본적인 제품 요구사항은 장비와의 체결을 위하여 공급수의 입구측에 나사가공을 위한 살 두께를 유지해야하며, 또한, 제품의 크기가 작은 의료용 장비이기 때문에 보관 및 장비 체결 시 회전 방지를 위한 단면 형상은 유지 되어야 한다. 따라서 이러한 요구사항을 고려한 스케일러 팁 제품의 기능 및 디자인 개선을 제품설계에 반영하고 분말사출성형용 금형을 통한 제품생산을 위한 금형설계도 같이 고려하였다. 이는 스케일러 팁의 형상과 기능을 바탕으로 제품의 기능 향상 및 분말사출용 금형 제작을 위한 스케일러 팁의 제품 설계를 하였다. 이렇게 완성된 제품을 기본으로 금형설계를 진행하였고, Fig. 2에 최종적으로 설계된 금형을 보여주고 있다. 본 금형의 가장 큰 특징은 앵글러 핀(Angular Pin)에 의해 구동되는 슬라이드 블록(Slide Block)에 캐비티 가공을 통한 제품성형 방식을 취하고, 다양한 제품형상을 가지는 슬라이드 블록의 제작을 통하여 스케일러 팁 생산 시 블록의 교체만으로 다품종의 제품생산에 빠른 대처가 가능한 장점이 있는 쾌속 금형(Rapid Mold)을 설계하였다.

4. 분말사출성형 CAE해석을 통한 금형설계

금형설계상 문제 발생 소지가 가장 큰 코어핀의 휨 예측 및 성형품 내부로 수지 충전 시 유동현상을 예측하기 위해 사출성형공정 CAE해석을 하였다. 본 연구에서 사용한 CAE해석 프로그램은 사출성형 공정해석에 널리 사용되고 있는 Moldflow™를 사용하였으며 Fig. 3은 유한요소모델의 결과를 보여주고 있다. 제품의 모델은 Fusion요소로 모델링 하였으며 유한요소(Finite Element)와 절점(Node)의 수는 각각 26,668개와 13,456개이다.

분말사출성형에 사용된 STS 316L 분말혼합체(Powder/Binder Mixture)의 실험을 통하여 얻어진 점도특성 선도와 PVT 선도를 Fig. 4에 제시하였다.

Fig. 5는 충전시간(filling time)을 변수로 정하여 다양하게 변화시켜가면서 각각의 경우에서 완전히 충전된 시점에서의 압력(pressure at the end of filling)의 값을 보여주고 있다. 해석결과에서는 일반 사출성형 해석에서와 마찬가지로 짧은 사출시간과

스테인레스제열(17-4PH, 316L, 440C) 분말을 이용한 Dental Scaler Tip 분말사출금형 개발

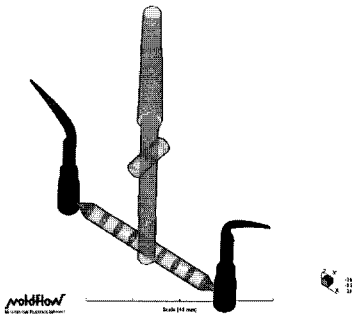


Fig. 3 Finite element modeling with delivery system

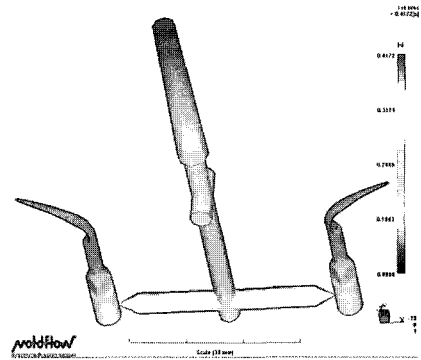
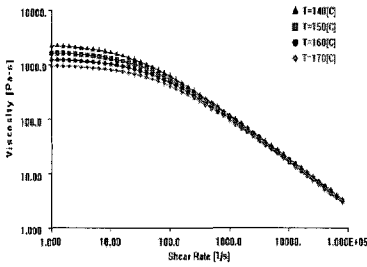
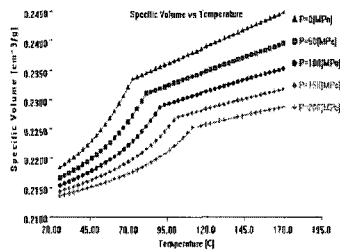


Fig. 6 Pressure field, just at the end of filling (30.84MPa)



(a) Viscosity



(b) PvT

Fig. 4 Rheological and PvT properties of the PIM feedstock with STS316L

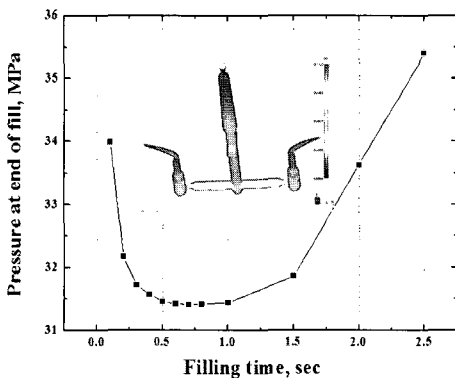


Fig. 5 Pressure at end of fill vs. filling time(Optimum filling time=0.7sec)

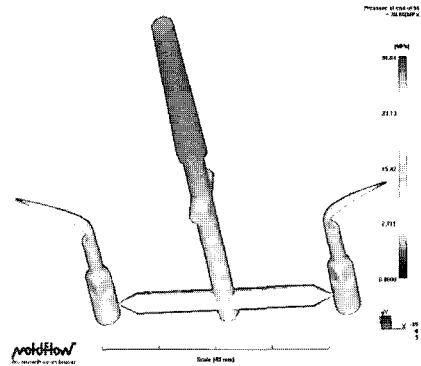


Fig. 7 Melt front advancement (filling time=0.417sec)

긴 사출시간에서의 압력분포가 높게 발생하였지만 분말사출성형의 경우에는 뚜렷하게 낮은 압력 분포가 발생하는 사출시간이 나타나지 않고 0.4~1 초 사이에서 거의 비슷하게 낮은 압력의 값을 나타나는 것을 알 수 있었으며, 사출시간 0.7 초에서 최소 압력값인 31.4 MPa 이 발생하였다. 따라서 이러한 해석결과를 바탕으로 최적의 사출시간은 0.7 초라고 할 수 있다. 하지만 이 구간에서의 압력값의 차이는 최대 0.3 에서 최소 0.03%이므로 최소 압력이 발생하는 사출시간의 선정은 명확하게 구분되어지기 어렵다고 할 수 있다. 하지만 사출시간의 증가로 인하여 충전이 끝나기 전에 고화가 이루어져 미성형이 발생하는 최소 사출성형시간은 2 초 이후에서 발생함을 알 수 있었다.

최적시간 구간에서 사출성형의 Cycle Time을 고려한다면 사출시간이 가장 적은 0.4초가 가장 적합할 것이다. 이러한 0.4초라는 사출시간을 기준으로 사출속도를 다단으로 변화시켜 사출성형시 일정한 유동선단 속도(Melt Front Velocity)를 유지

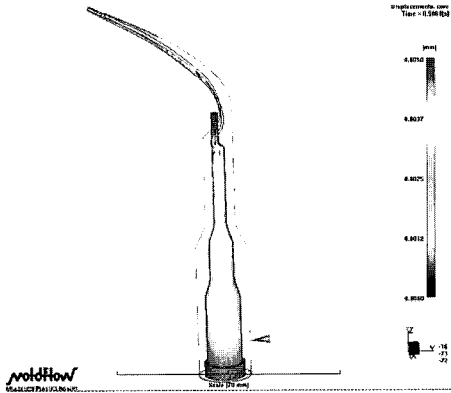


Fig. 8 Distribution of core deflection (Max.=0.005mm)

하도록 하여 성형해석을 수행하였다. 이렇게 유동선단 속도를 일정하게 유지함은 캐비티 충전 동안 유동의 균형을 잡는데 매우 중요한 변수가 되며 실제 사출에 있어서도 제품의 변형이나 수축을 최소화 하고 아울러 사출압력도 낮출 수 있는 중요한 조건이 된다.

Fig. 6 과 Fig. 7 은 사출시간 0.4 초의 해석 조건에 적용한 결과를 보여주고 있다. 앞서 언급했던 것과 마찬가지로 최대압력이 30.84MPa 로 약 1MPa 정도 감소한 것을 알 수 있다. Fig. 8 은 금형설계 단계에서 문제되었던 사출성형 중의 코어핀의 휨 정도를 사출성형해석을 통하여 검토한 결과로 변형량이 최대 0.005mm 로 코어핀에 큰 영향을 주지 않아 제품성형에 문제 소지가 없는 것으로 판단하였다.

5. 분말사출 금형제작 및 사출시험

사출성형해석에서 얻어진 결과를 통하여 성형품의 공기간힘(Air trap) 위치를 금형설계에 적용하였다. 그러나 분말사출금형설계에 적합한 에어밴트 가공의 설계기준값이 없었기 때문에 일반 플라스틱의 설계 기준치수인 0.02mm 로 적용하였다. 또한, 런너(Runner)직경은 $\varnothing 7\text{mm}$ 로 하였으며, 형상은 가장 수지 흐름성이 좋은 원형 형상으로 하였다. 게이트(Gate)는 핀 포인트 타입(Pin Point Type)의 $\varnothing 0.3\text{mm}$ 를 적용하였으며 위치는 제품의 금형 구조적인 제약 및 코어핀 하단의 직경이 크기 때문에 코어 변형의 최소화를 위해서 제품 하단에 설치하도록 하였다. 이와 같이 설계된 금형

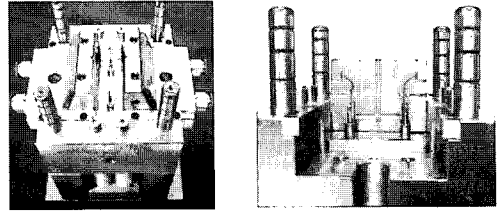


Fig. 9 Photos of dental scaler tip PIM mold

의 가공이 완료된 모습을 Fig. 9에 보여주고 있으며 가공이 완료된 금형의 수정 여부 판단을 위하여 성형성이 좋은 범용 플라스틱 재료인 LDPE (Low Density Poly-Ethylene)를 이용하여 수지 계량을 조정하며 미충전 실험(Short Shot Test)을 진행하였다. Fig. 10에서 보듯이 LDPE 재료의 시험사출에서는 완제품을 얻을 수 있음을 확인 할 수 있었으며, 금형설계 및 제작이 훌륭히 수행되었음을 확인하였다. 따라서 본 연구의 최종 목표인 분말사출성형 실험을 위와 동일한 방법으로 STS 316L의 분말혼합체(Powder/Binder Mixture)를 Table 3의 조건 하에서 미충전 실험을 진행하였다. 사용된 사출기는 독일 Dr. Boy사의 형체력 55ton, 내마모스크류가 장착된 Boy 55M을 사용하였다. Fig. 11은 STS 316L의 분말혼합체의 미충전 실험을 통해 얻어진 제품을 보여주고 있다. 하지만 분말사출 성형품의 경우 Fig. 12에서 보듯이 플라스틱 성형품에서 나타나지 않았던 에어밴트 부위의 플래쉬(Flash) 발생과 게이트 주위의 변색이 발생함을 알 수 있었다. 에어밴트 부위에서의 불량현상은 성형 온도보다 높은 수지온도로 인한 낮은 점도로 인한 발생 및 분말사출에 적합지 못한 에어밴트 가공 깊이의 영향으로 보여진다. 또한 게이트 부위의 변색이 발생하는 불량현상은 소결 전의 예측에서는 일반적으로 알려진 분말사출의 불량현상인 분말혼합체와 고분자결합체의 분리현상(Binder Separation)에 의한 게이트 주위의 함몰이 예상되었지만 Fig. 12에서 보듯이 실제 소결 후에는 게이트 부근의 재료의 밀도가 높아 제품 소결 시 균일 수축이 일어나지 못하여 외관 불량 발생하였다.

Fig. 13에서는 LDPE로 사출한 성형품과 STS 316L의 분말혼합체(Powder/Binder Mixture)로 성형한 소결전의 성형품 및 소결이 완료된 제품을 보여주고 있다. 제품크기가 차이를 보이는 것은 분말사출성형의 탈지 및 소결 공정 중에 바인더 재료로



Fig.10 Short shot experiment of dental scaler tip using LDPE

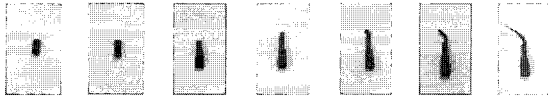
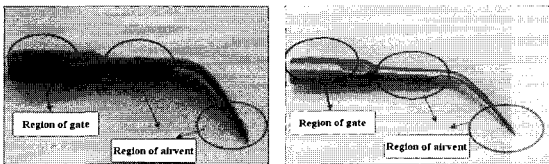
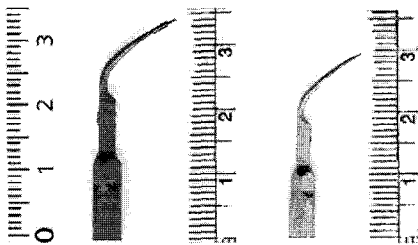


Fig.11 Short shot experiment of dental scaler tip using PIM feedstock with SUS316L



(a) Green part (b) Sintered part

Fig.12 Detail view of defects after powder injection molding and sintering



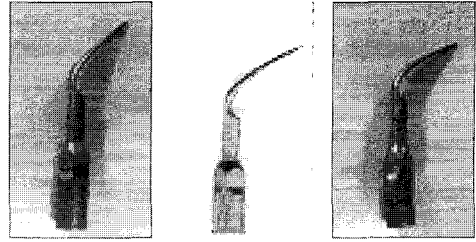
(a) (b) (c)

Fig.13 Photo of injection molded dental scaler tip with (a) LDPE and (b) PIM feedstock, and (c) that of after sintering

사용된 고분자 재료를 제거했기 때문이다. 따라서 이러한 부피수축에 따른 분말혼합체의 수축률을 금형설계에 적용함으로써 요구치수에 맞는 제품을 얻을 수 있었으며, 설계의도에 부합되는 성형을 얻을 수 있었다.

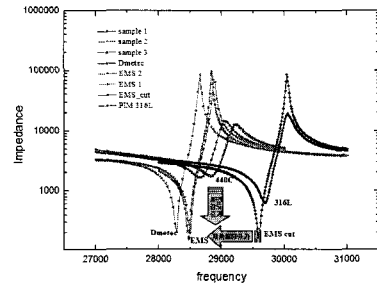
6. 스키팀러 팁 진동특성

Fig. 14 에는 STS 17-4PH, STS 316L, STS 440C 분말혼합체로 분말사출성형 및 소결한 스키팀러 팁을 보여주고 있다. 실제로 사용되는 스키팀러 팁

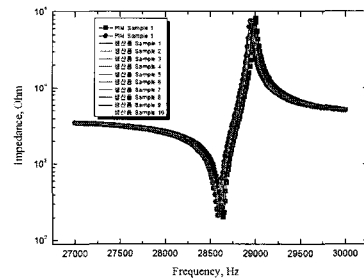


(a) STS 17-4PH (b) STS 316L (c) STS 440C

Fig.14 Photo of dental scaler tip after PIM process



(a) STS 316L, 440C



(b) 17-4PH

Fig.15 Comparison of vibrational characteristics of dental scaler tip with various materials

은 초음파 발생장치에 연결되어 진동이 발생되며, 이를 통해 스키팀러 끝단의 움직임으로 기능을 하게 된다. 이러한 진동은 특정 주파수를 요구하며 이때 임피던스의 값은 최소가 되어야 한다. 따라서 기능적 진동특성을 확인하기 위해 LCR Meter 를 통해 측정하였다. Fig. 15 에 측정된 결과를 보여주고 있다.

기존의 기계가공으로 제작된 스키팀러 팁의 진동특성에 비해 STS316L 및 440C 분말혼합체를 이용한 경우는 진동특성 및 임피던스의 값이 많이 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이는 강도 및 질량이 상대적으로 낮기 때문이며 이를 해결하기 위

해 기계적물성이 기존의 스케일러와 유사한 17-4PH 분말 혼합체로 성형한 샘플의 진동 특성을 확인해 보았다. 그 결과 Fig. 15(b)와 같이 기존 기계가공으로 제작되어 사용되고 있는 스케일러 팁과 거의 동일한 진동특성을 나타내는 것을 확인하였다.

7. 결론

(1) 기존의 기계가공 방식을 대신할 수 있고, 다품종 대량생산이 가능한 금형구조를 갖는 분말사출성형용 스케일러 팁의 쾌속금형 설계를 하였다.

(2) 스테인레스계열의 STS 316L, STS 17-4PH, STS440C 분말혼합체를 동일 금형에 적용하여 시성형 하였고, 이를 통해 얻어진 제품을 이용하여 기존 제품과 가장 근접한 기능을 갖는 분말혼합체를 선정하였다.

후 기

본 과제는 한국생산기술연구원이 주관하는 생산기술연구사업/벤처혁신사업의 지원으로 진행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] R. M. German, 2003, Powder Injection Molding-Design and Applications, Innovative Material Solutions.
- [2] 황철진, 박형필, 고영배, 허영무, 2005, 분말사출성형에 의한 치과용 스케일러 팁의 제조방법과 금형 및 그 스케일러 팁, 특허출원/10-2005-0035138, 실용신안출원/20-2005-0011794, 의장등록/디자인 제0398602호.
- [3] 황철진, 박형필, 고영배, 정성택, 이병욱, 2005, Dental Scaler 분말사출용 금형설계, 한국소성가공학회 2005년도 춘계학술대회, pp. 270~274.