

# 분말사출성형을 이용한 다수 캐비티 치과용 요오드 용기 금형제작에 관한 연구

최재훈<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>유한대학교 금형설계과

## A Study on mold manufacture of multi-cavity dental iodine container using powder injection molding

Jae-Hoon Choi<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Tool & Mold Engineering, Yuhan University

**요 약** 치과에서 사용되는 구강 치료용 요오드 용기는 개폐 시 용기의 캡에 부착되어 있는 칼날에 의해 치료용 실은 절단이 된다. 금속의 칼날은 요오드 용액과 반응하여 단기간에 부식이 되는 문제로 인해 환자의 위생에도 영향을 준다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 세라믹 칼날로 대체되어진 제품들도 개발되어 생산되는데, 이때 세라믹 칼날은 수작업과 기계가공을 통해 만들어 진다. 본 연구에서는 세라믹 칼날을 분말사출성형공정으로 대량 생산할 수 있도록 20Cavity의 균일 충전을 위한 유동 시스템을 제안하였다. Moldflow를 이용하여 20cavity 유동성에 대한 시뮬레이션을 진행하였고, 금형제작과 수정을 통해 금형을 완성하였다. 사출성형 후 탈지와 소결공정을 통해 완성하고, 금형에 세라믹 칼날을 인서트 사출하여 캡 제품을 완성하였다. 본 연구를 통해 유효한 절단 성능을 갖는 세라믹칼날 대량 생산 가능성을 검증하였다.

**Abstract** When iodine container for dental mouth treatment is opened, thread for treatment is cut by the blade in cap of container. Due to the problem of corrosion in a short period time after the reaction of metal blade to iodine solution, it gives impact on patient hygiene. In order to solve the problem, alternative products such as ceramic blade are developed and produced recently. In case of ceramic blade, it is produced by handwork and machine work. In this study, for the quantity production of ceramic blade with powder injection molding, we proposed a delivery system to have uniform charge of 20 cavity. Using Moldflow, simulation on 20 Cavity flow was performed. And then the mold was obtained through mold production and modification.(based on simulation) After injection molding, debinder, sintering process was achieved for ceramic blade, and the cap product was completed via insert injection on ceramic blade. In this study, we verified possibility of quantity production of ceramic blade which showed effective performance for cutting.

**Key Words** : Debinder, Delivery system, Powder injection molding

### 1. 서론

치과에서 사용되고 있는 요오드 용기는 사출성형공정을 통해 생산되고 있다. 용기의 구조를 보면 치료용 실이 요오드 용액 속에 담겨있는 형태의 몸체 용기와 뚜껑의 캡은 필요한 길이만큼 절단할 수 있는 금속의 인서트 칼날이 있다.

하지만 절단하는 칼날부분은 금속으로 만들어져 단시간에 부식이 되어 용기의 캡을 주기적으로 교환하며, 환자의 위생에도 영향을 준다. 칼날의 부식의 대안으로 세라믹 칼날을 인서트 사출 하는 방법으로 제조를 하는데 이때 사용되는 세라믹 칼은 판재를 절단하고 가공한 뒤 인서트 사출성형을 하는데 대부분 수작업으로 진행되므로 가격상승의 원인이 된다.

\*Corresponding Author : Jae-hoon Choi(Yuhan Univ.)

Tel: +82-10-2610-0813 email: vashi@naver.com

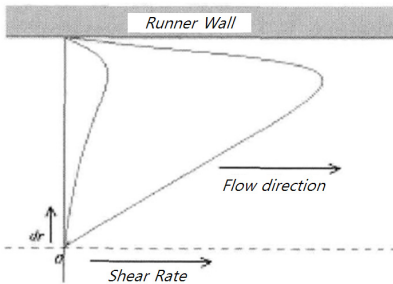
Received August 27, 2013 Revised September 30, 2013 Accepted January 9, 2014

본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하고자 생산성과 기계가공을 대체할 수 있는 분말사출성형공정으로 세라믹 칼날을 생산하고자 20cavity 구조를 제안하였고, 성형상에 문제가 되는 균일충전 흐름을 Moldflow를 이용한 유동시스템을 검증하였다. 제조된 세라믹 칼날의 미세조직, 경도, 수축변형을 분석하였다. 최종 완성된 세라믹 칼날을 캡 금형에 인서트 사출하여 완제품으로 치료용 실을 전단하였고 칼날의 부식이 없고 대량생산이 용이한 캡 제품을 만드는데 목적을 두었다.

## 2. 이론적배경

### 2.1 유동시스템

유동시스템의 게이트와 러너는 성형능률과 성형품의 품질을 크게 좌우하는 것으로 금형 설계 시 중요한 사항이다. 러너는 층류유동(Laminar flow)특징을 나타내며, 폴리머 층(layer)사이의 유동 채널의 중심부와 외측부에 흐르는 폴리머의 유동은 다르게 나타난다. 이 변화의 비율을 전단율  $\dot{\gamma}$  이라 하며, Fig. 1은 러너 내에서 발생하는 전단율의 변화를 나타낸 것이다.



[Fig. 1] Profile of shear rate within runner.

전단율은 러너 벽면 고화층 아래에서 가장 크게 발생되며, 러너 중심으로 갈수록 전단율은 감소하여 유동채널 중심에서의 전단율은 0에 가깝게 된다. 이와 같은 전단율 분포는 식 (1)에서와 같이 나타낼 수 있다[1,2].

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial V}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left[ V_0 \left( 1 - \left( \frac{dr}{R} \right)^{(n+1/n)} \right) \right] \quad (1)$$

- 여기서,  $V_0$  : 최고 흐름 속도
- $R$  : 러너의 반경
- $dr$  : 흐름 중심에서의 위치
- $n$  : Power law index

수지가 러너 내부를 흐를 때 형성된 전단율 분포는 러너의 반경과 유속에 따라 영향을 받는다. 정상적인 성형 조건에서는 전단율이 커지면서 그 유동층 부근의 온도는 높아지게 되고, 수지의 점성을 낮게 하는 소위 전단 감소(shear thinning)현상을 나타내어 그 유동층의 유동성을 증가시키는 요인이 된다.

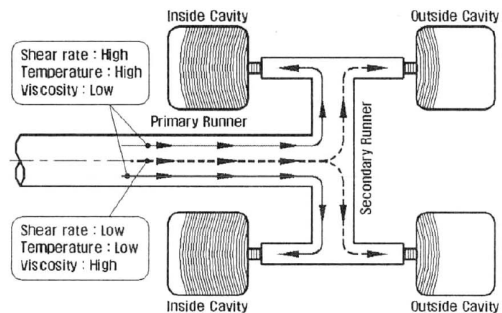
사출성형 시 수지점도와 전단율 등과의 관계는 식 (2)와같이 Modified Cross-WLF Model을 사용하여 나타낼 수 있다[3].

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left( \frac{\eta_0 \times \dot{\gamma}}{\tau} \right)^{(1-n)}} \quad (2)$$

- 여기서,  $\dot{\gamma}$  : 전단율(shear rate)
- $\tau$  : 경계구역에서의 전단응력
- $\eta$  : 비뉴턴 지수
- $\eta_0$  : 제로 전단율에서의 점도

### 2.2 분기형 러너에서의 충전 불균형

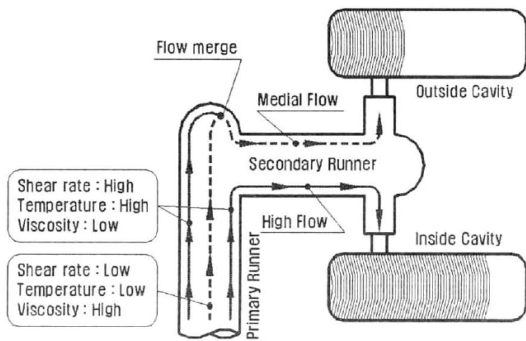
Fig. 2에서 보는 것과 같이 내측과 외측 캐비티는 기하학적으로 균형을 이루고 있으나 실제 사출성형 시 캐비티 간에 불균형이 일어난다. 이러한 현상은 러너의 분기가 2회 이상 발생되는 경우 러너중심부의 전단율과 러너 벽면의 전단율 차이에 의해 발생된다고 알려져 있다. 러너 벽면 영역에서는 전단율이 가장 높아지게 되고 수지의 비뉴턴(non-Newtonian)특성과 마찰열에 의해서 점도가 낮아지게 되어 수지의 유동은 러너 중심부 보다 더욱 빨라지게 된다. 이런 상태로 1차 분기된 수지의 유동은 2차 러너의 좌측 및 우측의 흐름 특성을 변화시켜 캐비티 간 충전 불균형을 일으키게 된다[4-9].



[Fig. 2] The filling imbalance in binary branch type runner lay-out.

편측 분기형 러너(unary branch type runner)에서의 충전 불균형 역시 양측 분기형 러너에서와 같이 주 러너 벽면 고화층과 접하고 흐르는 수지는 중심부의 수지보다 더 뜨거운 수지 상태가 된다.

그러나 양측 분기와 달리 편측 분기에서는 [Fig. 3]에서 보는 것과 같이 90° 방향전환이 이루어지는 콜드 슬러그 웰(cold slug well) 형상의 Groove corner 부에서 중간 유동(medial flow)이 발생한다. 이런 이유로 러너 외측의 흐름은 간섭 없이 흐르는 내측의 유동보다 저온의 저속 유동이 발생하게 되어 외측 캐비티 보다 내측 캐비티에 먼저 채워져 충전 불균형을 일으키게 된다[10].



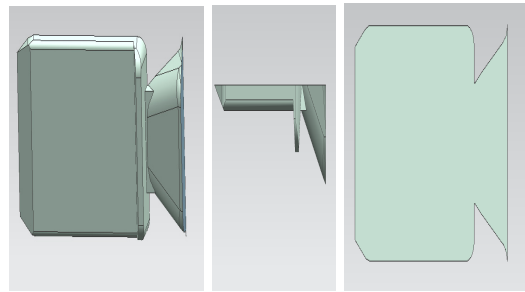
[Fig. 3] The filling imbalance in unary branch type runner lay-out.

### 3. 설계 및 해석과정

#### 3.1 제품 및 러너설계

제품의 설계는 인서트 사출시 고정될 수 있는 구조로 설계하였다. 탈지공정(debinding)에서 약 20% 수축을 감안하여 제품의 크기는 X 5.8 Y7.0 Z0.4 mm로 설계 하였다. 게이트는 사이드게이트로 설계를 하고 각도를 주어 게이트 절단 시 제품 턱걸이 형상에 파손과 변형이 되지 않는 구조로 설계하였다.

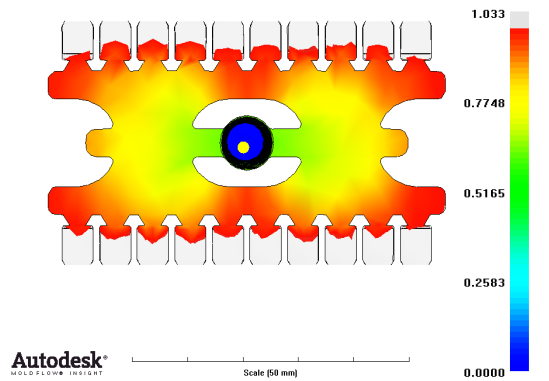
러너는 캐비티 수와 배열에 따라 레이아웃은 달라진다. 러너의 설계는 균일한 유동배분에 기인하여 배열 설계하는데 원형배열과 H형 배열이 유동배분에 좋은 구조로 알려져 있고 직선배열의 경우 B.G.V(balanced gate value)가 중요한 요소로 알려져 있다. Fig. 4는 세라믹 칼날의 이미지이다.



[Fig. 4] Proposed ceramic Knife shape.

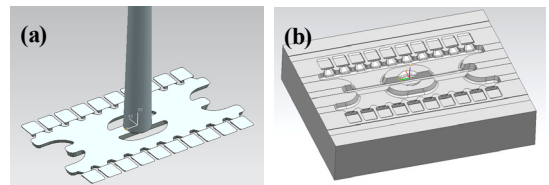
러너의 유동과 균일배분 그리고 리사이클이 가능한 러너를 고려하여 Moldflow를 이용하여 해석을 수행하였다 약 75000mesh를 생성하였으며. Moldflow 에서 제공하는 세라믹파우더를 이용하여 6종의 소재로 유동해석을 하였고, 물성이 유사함을 고려하여 유동경향만 참고하였다.

[Fig. 5]는 유동해석의 결과 이미지로 러너의 설계는 균일한 흐름에 기인할 수 있다고 사료된다.



[Fig. 5] Using Moldflow Fill time result for twenty cavity delivery system.

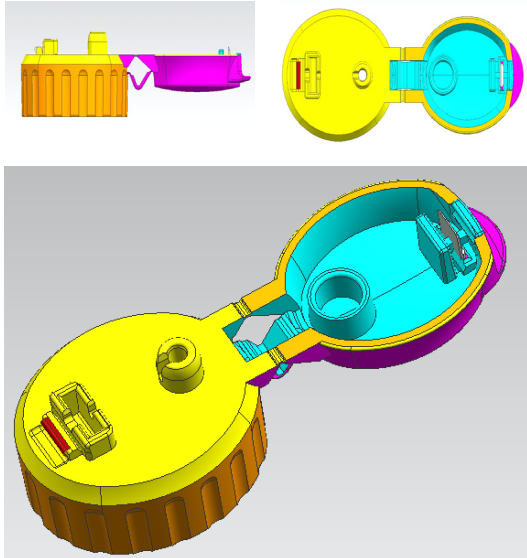
[Fig. 6]의 (a)는 최종 설계한 러너이며 (b)는 인서트 코어의 이미지이다.



[Fig. 6] 3-dimensional model of (a) delivery system and (b) insert core mold design.

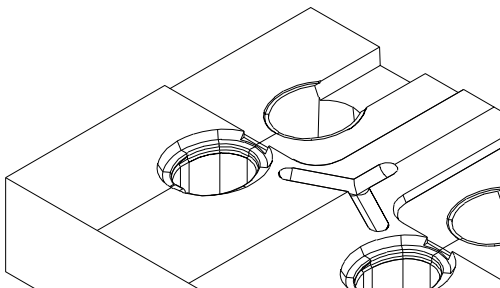
### 3.2 인서트 금형 설계

캡 제품은 인서트칼날을 통해 치실을 절단하기 때문에 장기간 내구성을 고려한 힌지설계가 중요하기 때문에 힌지부위를 이중 설계하였다. Fig. 7 캡의 삼차원 제품 이미지이다.

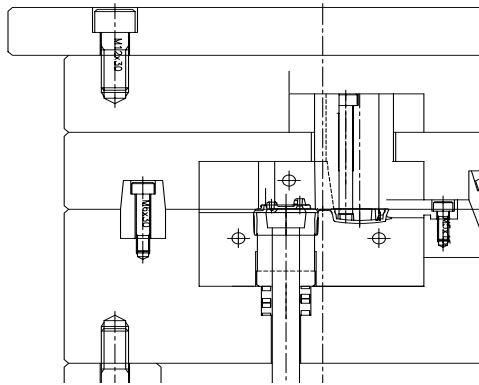
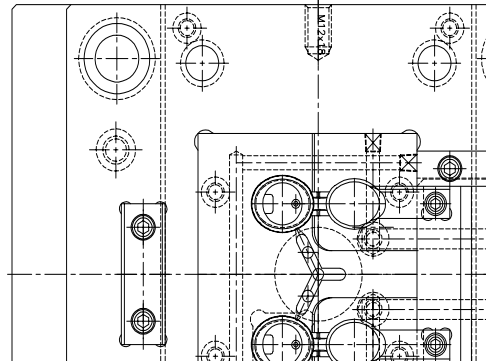


[Fig. 7] 3-dimensional model of Cap product.

제품을 장기간 사용하기 위해서는 힌지의 파손이 되지 않는 구조의 금형설계와 웰드라인이 힌지 주변에 생기지 않도록 게이트의 위치와 금형구조는 매우 중요하다. 힌지 파손과 생산성을 고려하여 2cavity의 구조와 사이드게이트로 설계함 으로서 일방향으로 수지가 충전되도록 하였다. Fig. 8은 인서트 캐비티의 등각도 2D 이미지이다. Fig. 9는 캡 금형의 Moldbase의 평면도와 조립도이다.



[Fig. 8] Cap insert mold design isometric drawing.



[Fig. 9] Cap moldbase drawing; plane and assembly. (SD 2323 40 80 70 112kg)

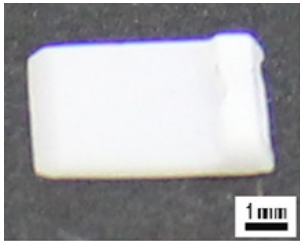
## 4. 결과 및 고찰

분말사출성형 후 탈지공정을 통해 사출성형에 사용된 수지를 제거하고 소결 공정을 거쳐 최종 제품을 완성한다. 탈지공정은 고분자 결합의 제거로 분말 입자간의 등방 또는 이방성 수축이 일어난다. 소결 수축량을 보정하여 금형을 제작하고 사출성형 하여 치수정밀도 얻는다. Table 1은 소결 전후의 수축율을 X Y Z 방향에서 비교 측정한 데이터로 약 20%의 수축이 발생되었음을 알 수 있다.

[Table 1] Shrinkage rate of before and after sintering.

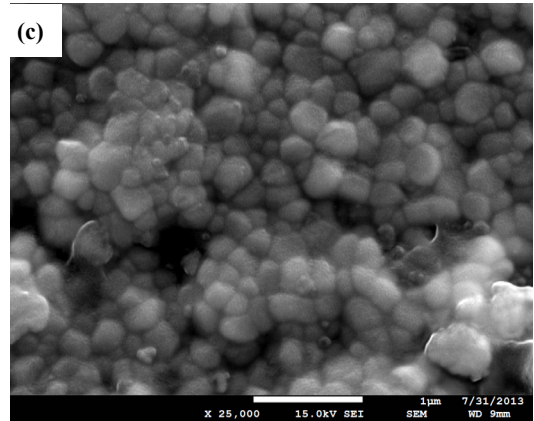
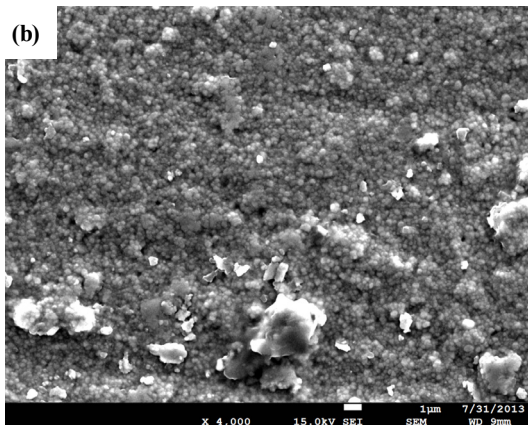
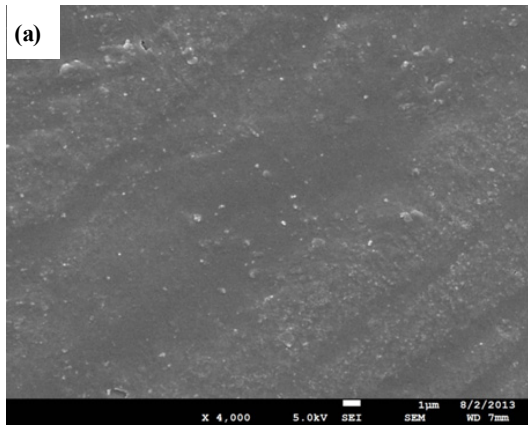
Measuring position	Before sintering [mm]	After sintering [mm]	Shrinkage rate [%]
X	5.87	4.61	21.7
Y	7.14	5.57	22.0
Z	0.45	0.36	20.0

Fig. 10은 소결 후 제품사진이며 마이크로 비커스 경도기를 이용하여 측정하였다. Hv 1562.8, 1667.3의 결과를 얻었다. 이는 시중에서 판매되는 세라믹 판재를 연삭 가공 하여 만드는 칼날의 수치보다 약간 높은 경도를 얻었음을 알 수 있다.



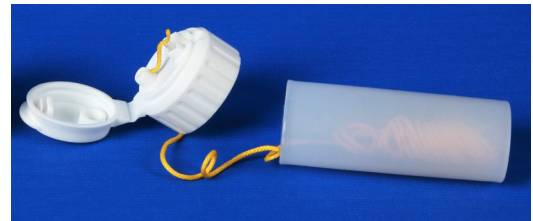
[Fig. 10] Picture of the product before sintering shrinkage.

Fig. 11은 SEM 이미지로 (a)는 분말사출성형공정으로 만든 칼날 제품이며 (b)와 (c)는 탈지/소결 후에 뒤 최종 제품의 4000배, 25000배 이미지로 기공이 거의 없이 양호한 조직을 얻었다.



[Fig. 11] SEM Micrographs of (a)ceramic injection molding, (b) and (c) the product after debinder and sintering.

Fig. 12은 최종 완성된 Cap 제품이미지로 개폐 시 치료용 실의 절단이 유효함을 확인하였다. 치실의 파단은 금속의 칼날에 준하는 깨끗한 전단면을 확인 하였다.



[Fig. 12] Final product of ceramic injection molded Knife composed of insert cap and body.

#### 4. 결론

본 연구에서는 분말사출성형을 이용한 치과용 요오드 용기 금형 설계, 제작 및 제작된 제품에 대한 유효성을 분석을 수행하였다. 분말사출성형을 위한 세라믹 칼날 금형은 대량생산을 위한 20cavity로 설계 한 뒤 Moldflow를 이용하여 균일한 유동 경향을 확인하였으며 인서트 금형을 제작하여 사출 성형하고, 유동시스템을 수정 보완 후 세라믹 칼날을 분말사출성형을 통해 대량생산하였다. 이는 유동해석을 통해 유동시스템을 검증하여 금형설계에 반영하여 시행착오 줄였다. 탈지와 소결을 하고 수축검사를 통해 약 20% 수축이 되었음을 확인하였고, 세라믹 칼날제품을 SEM을 통하여 수지가 거의 없는 치밀한 세라믹 조직을 얻었음을 확인하였다. 마이크로비커스 경도 테스트 하여 Hv 1562.8, 1667.3의 경도를 확인하였으며 이는 세라믹 판재인 Hv 1500에 준하는 경도임을 확인하였



다. 인서트 사출을 통해 캡의 완제품으로 개폐 시 치료용실의 절단이 유효함을 확인하였다.

## 후기

본 연구에 도움을 주신 대진몰드 최광성 대표님께 감사드립니다.

## References

- [1] Beamont, J. P., Young, J. H. and Jawoski, M. J., "Solving Mold Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molds," *Journal of Injection Molding Technology*, Vol.2, No.2, PP.47-58, 1998
- [2] Dong Yeop Han and Yeong Deug Jeong "Degree of Filling Balance according to Runner Shapes in Injection Mold" *Journal of the Korean Society for Precision Engineering* Vol.25, No. 10, pp. 144-149
- [3] Kang, C. M. and Heonf, Y. D., "Effects of Glass Fiber on the Filling imbalance in Multi-Cavity Injection Mold," *Spring conference KSME*, pp. 120-123, 2004.
- [4] Auell, P. and Bailey, M., "Effect Thermoplastic Material Properties on Mold Filling Imbalances," *ANTEC*, pp.3498-3499, 2002
- [5] Beaumont, J. P., Nagel, R. and Sherman, R., "Successful Injection Molding," *HANSER*, pp. 36-37, 2002.
- [6] Han, S. R., Kang, C. M., Han, K. T. and Jeong, Y. D., "A Study on the Filling Imbalances between Multi-Cavity in Hot-Runner Mold," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 22, No. 9, pp. 174-175, 2005.
- [7] Je, D. K. and Jeong, Y. D., "Filling Imbalance in 3Plate Type Injection Molds with Multi-Cavity," *Spring conference KSPE*, pp. 300-301, 2000.
- [8] K. I. Jeon, S. K. Noh and D. H. Kim, "A study on the runner system for filling balance in multi-cavity injection molds" *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society* Vol. 12, No. 12 pp. 5398-5404, 2011  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.4.1581>
- [9] Han, D. Y., Kwon, Y. S., No, B. S. and Jeong, Y. D., "Filling Imbalance of Elastomer TPVs in Injection Mold with Multi-Cavity," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 24, No 2, pp.41-43, 2007.
- [10] Y. D. Jeong "Development of New runner system for

filling balance in multi cavity injection mold" *Transactions of materials processing*, Vol. 15, No.1, 2006

최재훈(Jae-Hoon Choi)

[정회원]



- 2009년 8월 : 연세대학교 재료공학 (공학석사)
- 2013년 9월 : 연세대학교 기계공학 (박사과정 중)
- 2013년 9월 : 유한대학교 금형설계과 산학협력중점 조교수

<관심분야>

사출금형 및 프레스금형, Nano Fabrication, 초정밀가공