

## 사출금형의 냉각채널 성능 평가

김 현 수,<sup>1</sup> 한 병 윤,<sup>1</sup> 이 일 천,<sup>2</sup> 김 영 만,<sup>3</sup> 박 형 구<sup>\*4</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 기계공학과, <sup>2</sup>보현산업(주)

<sup>3</sup>전남대학교 신소재공학부, <sup>4</sup>전남대학교 기계시스템공학부

### PERFORMANCE EVALUATION OF COOLING CHANNELS IN A PLASTIC INJECTION MOLD MODEL

H.S. Kim,<sup>1</sup> B.Y. Han,<sup>1</sup> I.C. Lee,<sup>2</sup> Y.M. Kim<sup>3</sup> and H.K. Park<sup>\*4</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Chonnam nat'l Univ.

<sup>2</sup>Bostech Co., Ltd.

<sup>3</sup>School of Materials Science & Engineering, Chonnam nat'l Univ.

<sup>4</sup>School of Mechanical Systems Engineering, Chonnam nat'l Univ.

*Design of the cooling channels of a plastic injection mold affects the quality and the productivity of the injection processes. In the injection process, the melted resin with high temperature enters the mold cavity, and just after the cavity is filled the heat should be dissipated through the cooling channels simultaneously. The purpose of this study is to analyse the heat transfer phenomenon and to estimate the temperature distribution in the mold to evaluate the cooling effect of the channels. The injection mold is assumed to have cooling channels of circular cross section and each channel has the same coolant flow rate. and The cavity has a rectangular shape. The results show that as the cooling channels get closer to the cavity surface, the cooling efficiency increases as might easily be guessed. However, due to the final hot resin flow from the gate an intensive cooling is required in that region.*

**Key Words :** 사출금형(injection mold), 냉각채널(cooling channels), 냉각 효과(cooling effects), 열전달(heat transfer)

### 1. 서 론

사출성형의 장점으로는 복잡한 형상의 제품을 적은 비용으로 만들 수 있기에, 최근 사출 금형 산업은 빠른 속도로 시장에서 성장하고 있다. 사출 성형 공정은 용융된 고분자 수지가 금형내로 흘러들어가는 충전(filling)단계와 수축에 의한 체적감소를 보상하기 위하여 지속적인 압력을 가해주는 보압(packaging)단계, 취출 시 충분한 강도를 갖게 하는 냉각(cooling)단계, 금형이 열리고 제품이 나오는 취출(ejecting)단계로 이루어지는 사이클을 가지고 있다[1]. 특히 냉각 단계는 전체 공

정의 약 60%~80%에 해당하며, 제품의 불균일한 온도분포와 코어(core)와의 온도 차이는 수축률과 잔류응력을 발생시키므로 금형의 냉각시스템 설계는 중요하다. 냉각시스템의 주요 설계 인자는 제품의 크기, 형상 및 열물성치, 냉각 채널의 위치와 냉각수 온도 및 유량이 있다. 일반적으로 이러한 설계인자는 경험에 의해 결정되어 왔으나, 제품의 형상이 복잡해짐에 따라 냉각 시스템 설계 기준이 요구되고 있는 실정이다[2].

냉각시스템 설계에 대해 현재까지 연구된 내용들은 다음과 같다. Tang와 4인[1]은 임의의 형상에 대하여 균일하지 않은 온도분포에 따른 형상의 뒤틀림을 수치해석을 통해 예측하였으며, Qiao[2]는 계산 방법을 비교 검증하여 2차원 형상에서 냉각 단계만을 고려하였다. 동일 냉각수 유량 조건하 냉각 채널의 위치에 따른 제품의 온도 분포를 각각의 계산 방법에 대하여 비교하였다. Guilong와 3인[3]은 냉각채널의 위치변화에 따른 급속 금형 가열 공정에서 가열 및 냉각 시스템의 최적화를 연구하였다. Hassan의 3인[4]은 3차원 형상에서 충전

Received: January 6, 2012, Revised: May 2, 2012,

Accepted: May 4, 2012.

\* Corresponding author, E-mail: park@chonnam.ac.kr

DOI <http://dx.doi.org/10.6112/ksce.2012.17.2.053>

© KSCFE 2012

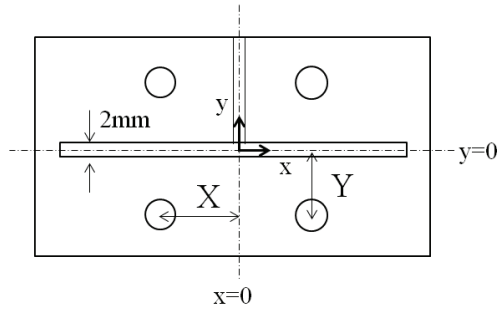


Fig. 1 Schematic shape of the model at z=0mm

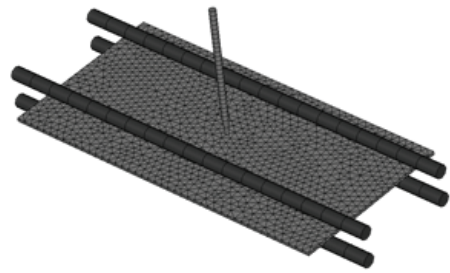


Fig. 2 Mesh generation of model

과 보압, 냉각과 취출 과정에서의 밀도 변화와 열전달을 모두 고려하여 이론적으로 접근하였다. 해당 이론으로 이론적으로 예측 가능한 모델에 대하여 수치해석을 수행하였으며, 이를 이론 계산결과와 비교를 통해 검증하였다. 비교 검증 후 직육면체 형상을 일부 변형시킨 모델에 대하여 해석을 수행하였으며, 이때 정사각형, 직사각형, 원형의 단면을 갖는 냉각 채널을 설계하여 단면 형상 차이에 따른 냉각효과를 분석하였다. 온도 분포 및 최고 온도, 상변화 완료시간을 비교 기준으로 하여 형상에 따른 장단점을 분석하였다.

본 연구는 직육면체 형태의 제품을 대상으로 하였으며, 고온의 액체 상태 수지가 캐비티(cavity)에 충전되어있는 상황을 고려하였다. 냉각에 의해 액체 상태의 수지는 고체 상태로 상변화가 일어나며, 이에 따라 해석 대상의 물성치가 변화하도록 하였다. 이 연구의 목적은 직육면체의 제품에 대하여 냉각 채널의 위치 변화에 따른 열전달 현상과 온도분포를 확인하고, 냉각효과를 평가하는 것이다. 고온의 액체 상태 수지가 캐비티(cavity)에 충전되며, 보압, 냉각과정까지의 해석을 수행하였다.

## 2. 해석 모델 및 조건

### 2.1 해석 모델

Fig. 1은 길이방향으로 제품의 중앙인 z=0 mm에서 3차원 해석 모델의 단면을 보여주고 있다. 제품의 제원은 두께 2 mm, 폭 100 mm, 길이 200 mm이다.

유동이 대칭적으로 발생되도록 제품의 중앙에 게이트를 위

Table 1 Variables for each case

Case No.	X (mm)	Y (mm)	Case No.	X (mm)	Y (mm)	Case No.	X (mm)	Y (mm)
1		8	4		8	7		8
2	10	16	5	20	16	8	30	16
3		24	6		24	9		24

치하도록 하였으며, 종류는 핀 포인트 게이트로서 1 mm의 끝 지름을 적용하였다. 러너 시스템(runner system)은 콜드 러너를 적용하였으며, 스프루(sprue)의 시작지름은 2 mm, 끝 지름은 4 mm이며, 러너의 길이는 60 mm이다. 제품의 주위로 4개의 냉각채널이 존재하며 채널의 직경은 8 mm이다. 각각의 냉각채널의 위치는 변수 X, Y에 의해 결정되며, X는 x=0으로부터 10 mm, 20 mm, 30 mm의 값을, Y는 Y=0으로부터 8 mm, 16 mm, 24 mm의 값을 갖게 된다. 각 변수에 대하여 Case별로 나타내었으며 이를 Table 1에 정리하였다. 냉각 채널 내 냉각수의 유량은 3.387 lit/min이며, 레이놀즈수(Reynolds number)는 10000으로 냉각수의 유동은 난류영역에 존재한다.

해석에 적용된 수지의 종류는 ABS계열의 수지이며, 수지에 대한 열물성치를 Table 2에 제시하였고, 금형의 온도 및 사출 성형 조건은 Table 3에 제시하였다.

Fig. 2는 생성된 Mesh로서 Moldflow Plastics Insight 6.1에서 제공하는 Fusion mesh를 적용하였으며, 노드의 개수는 2491개이며, 평균 aspect ratio가 1.5인 mesh로 구성되어 있다.

### 2.2 지배방정식

충전단계에서 Hele-shaw 유동의 지배방정식은 식 (1)과 같

Table 2 Thermal properties of the resin

Item	Value
Transition temperature(°C)	103
MFR(g/10min) at 220 °C	50
Specific heat(J/kg·C) at 200 °C	1565
Thermal conductivity(W/m·c)	0.16

Table 3 Injection molding conditions

Cooling operating parameter	Value
Filling time(s)	1.6
Cooling time(s)	28
Mold surface temperature(°C)	60
Coolant temperature(°C)	25
Melt temperature(°C)	200

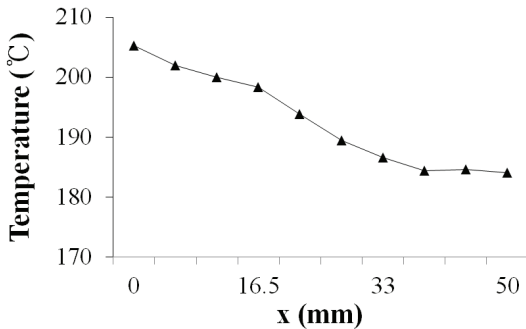


Fig. 3 Temperature distribution after the filling process

다[5]. 식(2)에서 b는 z방향 제품 두께의 1/2를 의미하며,  $\eta$ 는 점성계수를 의미한다. 열전달은 Fourier의 열전달 방정식으로 계산된다. 이와 같은 가정은 식 (3)으로 근사되며,  $\dot{\gamma}$ 는 전단율(shear rate)을 의미한다.

$$\frac{\partial}{\partial x}(S \frac{\partial p}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(S \frac{\partial p}{\partial y}) = 0 \quad (1)$$

$$S = \int_{-b}^b \frac{z^2}{\eta} dz \quad (2)$$

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \dot{\gamma}^2 \quad (3)$$

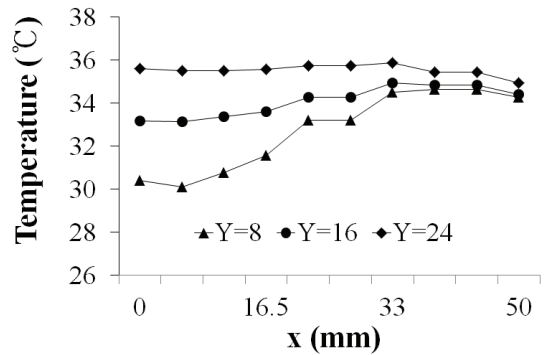
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 Case 1~9 해석 결과

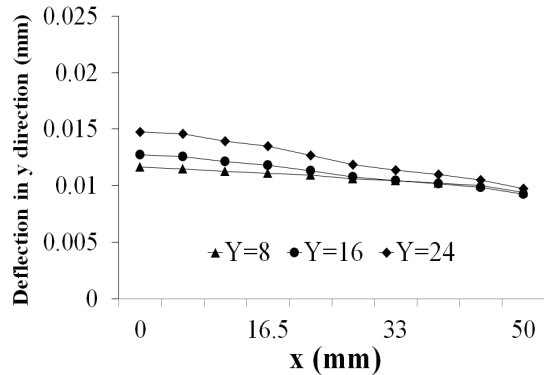
제품의 수축이나 잔류응력의 형성은 냉각시스템의 설계에 의해 좌우되며, 설계 주요 인자로는 제품의 두께와 형상, 냉각수의 유량 등이 있다. 특히 냉각 채널의 적절한 위치선정은 냉각과정에서 열전달을 조정하여 전체적으로 균일한 온도분포를 형성함과 동시에 수축 및 잔류응력의 영향을 최소화하는데 주요한 인자이다.

Fig. 3은 충전과정이 끝나는 1.6초에서 y=0, z=0에서 제품의 x방향 온도분포로서, 제품 중앙부분의 온도가 최종적인 수지의 주입으로 인해 가장 높을 것으로 예상되며, 해석결과도 예상과 일치하였다. 이러한 온도분포는 냉각과정에서 온도분포 및 변형량의 크기를 확인하는데 중요한 인자이다.

유동선단에서는 점성 소산에 의한 발열량이 더해져 이에 따른 온도상승이 제품의 온도분포에 영향을 미치나, 점성소산으로 인한 온도상승의 크기가 6°C이내이다. 마지막에 주입되는 중앙부분에 비해 초기에 급형 표면을 따라 제품의 끝단으로 채워지는 수지는 급형과의 열전달로 인해 제품 끝에서의



(a)



(b)

Fig. 4 (a) Temperature distribution (b) Deflection in y direction at various value of Y when X=10mm

온도가 대략 20°C 정도 낮은 상태에서 냉각과정이 시작된다. 이로 인해 해석 결과 전반에서 냉각과정 종료 후 제품 끝에서의 온도가 낮음을 확인할 수 있다.

Fig. 4(a)는 각 해석에 대하여 사출시간 약 1.6초, 냉각시간 28초 이후 최종적으로 취출 단계 이전의 온도분포를 나타낸 것이며, Case 1,2,3의 경우에 해당한다. 측정위치는 x=0에서 끝단까지 제품 중앙의 온도분포를 나타내고 있다. 냉각채널의 위치가 중심에서 x 방향으로 1/5에 위치해있기 때문에 중심부의 냉각이 전반적으로 원활함을 알 수 있다. Case 1의 경우 냉각채널이 위치하는 부근의 온도가 상대적으로 매우 낮으며, 제품의 끝으로 갈수록 냉각효과가 줄어들어 급격한 온도 차이를 보이게 된다. Case 2의 경우 Case 1에 비해 상대적으로 높은 중심부 온도를 보이게 되나, 제품전반의 온도 편차는 작아지는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 Case 3에서 더욱 확연히 드러나게 된다.

Fig. 4(b)는 제품의 y 방향 변형량을 나타낸 그래프로서, Fig. 4(a)와 비교하였을 때 Case 1에서의 게이트 부근의 변형량이 가장 작은 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상의 원인은

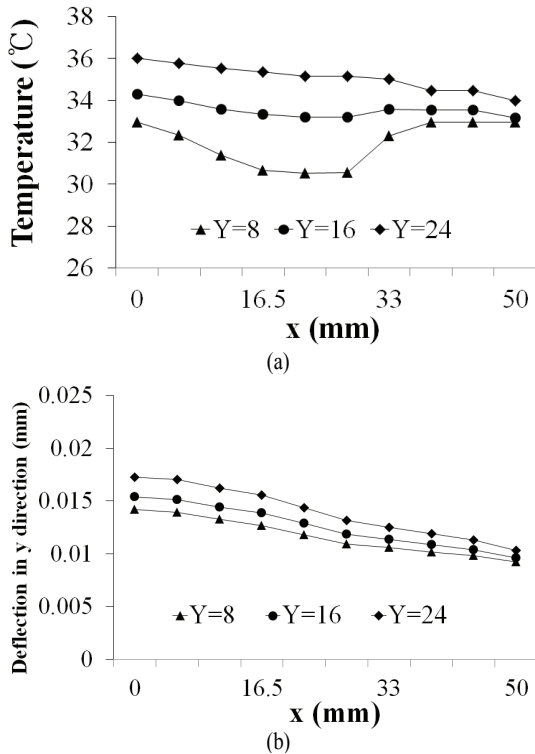


Fig. 5 (a) Temperature distribution (b) Deflection in y direction at various value of Y when X=20mm

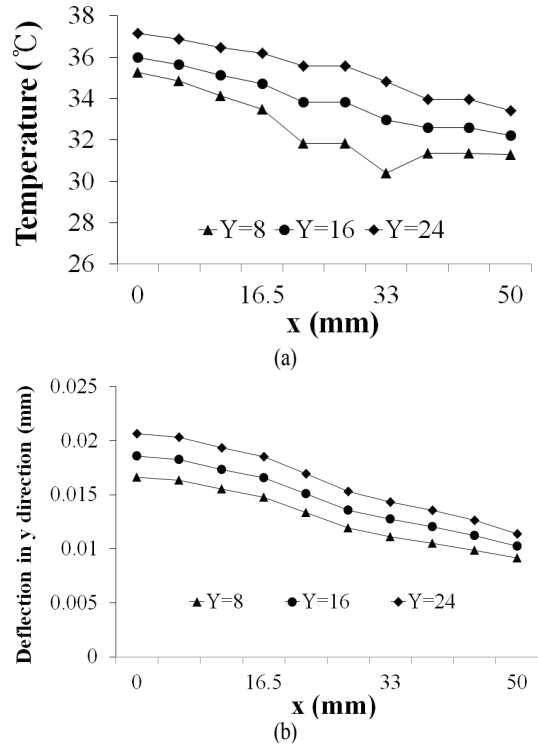


Fig. 6 (a) Temperature distribution (b) Deflection in y direction at various value of Y when X=30mm

로는 중심부의 온도와 금형 온도의 차이가 낮아 이러한 변형량이 발생된 것이라 예상할 수 있다. 이로부터 제품의 온도분포 균일화보다 금형과 제품의 온도 차이를 줄이는 것이 현 상황에서 지배적임을 알 수 있다. 제품의 끝단에서 Case 1,2,3의 변형량에 차이를 보이고 있지 않으며, 이 부분에 대하여 냉각 효과가 미치지 않음을 알 수 있다.

Fig. 5(a)는 X=20일 때, 냉각채널이 x 방향으로 제품 중심으로부터 2/5만큼 떨어진 위치에 있을 때, Y값의 변화에 따른 제품의 온도를 나타낸 그래프로서, Fig. 4(a)에 비해 편중되지 않은 고른 온도분포를 보이며, Y가 증가함에 따라 제품의 최고온도가 상승하는 비슷한 경향을 보이고 있다. Fig. 5.(b)에서 볼 수 있듯이 냉각채널이 X=20 mm에 위치하여 제품의 끝단에서 해당 부분까지의 변형이 감소하였으나, 제품중앙부의 온도와 금형과의 온도차이 때문에 발생한 제품 중앙부에 변형 때문에 전반적인 변형에 대한 양상은 오히려 심화되었다. 끝단에서의 변형량은 냉각채널 위치변화로 조금 줄어들었으며, 이러한 변형 감소로부터 냉각채널이 끝단에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6(a)는 냉각채널이 제품 중심으로부터 x 방향으로 3/5에 위치 Y값의 변화에 따른 제품의 온도를 나타내고 있으며,

제품 중심부의 온도상승과 끝부분의 온도감소효과가 두드러져 전체적인 최고온도와 최저온도차이가 확연히 드러나고 있으나, 여기서 주효한 냉각채널의 영향은 제품의 끝단에서 Fig. 3(a), Fig. 4(a)와 온도분포의 비교를 통해 알 수 있다. Case 7의 경우 끝단에서의 온도가 전체 해석 모델 가운데 가장 낮은 경우이나, Case 1에 비해 변형량의 감소는 두드러지지 않으며 이러한 경향은 온도 자체가 낮아짐으로써 발생하는 변형이 크지 않음을 반영한다.

최소온도의 영향을 확인하기 위하여 각 해석에 대하여 냉각시간을 추가하여 제품전체에서 최고 온도가 30°C이하일 때 제품의 변형량을 확인하였으나 제품 전체의 온도가 낮아져도 변형량에는 차이가 없음을 확인 할 수 있었다. 이로부터 단순히 제품 전반의 온도를 낮추는 것이 제품의 변형에 영향이 없음을 알 수 있으며, 적절한 냉각채널 추가를 통한 변형감소가 필요함을 예상해 볼 수 있다.

### 3.2 개선 모델 해석 결과

Fig. 7은 앞선 Case 1부터 9까지 해석결과를 분석하여 y 방향 변형 최소화하기 위하여 냉각채널을 추가한 개선안을 나타내고 있다. 선행된 해석으로부터 게이트 부근의 냉각이 중

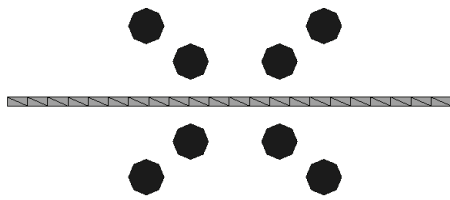


Fig. 7 Additional cooling channel model

요하며, 이외의 영역에서는 집중적인 냉각을 통한 변형 감소의 차이가 적음을 고려하여 Fig. 7과 같이 설계하였다.

Fig. 8은 개선 모델의 온도분포와 변형량에 대한 그래프이다. 해당 그래프에서 게이트 부근의 온도가 Case 1보다 감소하였고, 이러한 온도분포의 영향은 제품의 변형량에서도 나타나게 된다. 이 외의 온도분포가 Case 1과 유사한 경향을 보이나, 전반적으로 낮은 온도를 보이며 끝단에서의 변형은 Case 7에서 보다 적은 변형을 보이고 있다. 그래프 상에서 끝단의 변형량이 게이트 부근보다 많은 것으로 보이나, 실제적인 차이는 0.001 mm 차이로 1%의 차이를 보이게 되며, 변형량을 전체 두께에 대하여 표시하였을 때 5% 이내의 변형을 보여 비교적 변형이 적은 것을 알 수 있다.

실제적으로 제품의 수축에는 게이트의 위치, 종류, 제품의 두께 등 냉각채널을 제외한 인자가 많은 것이 사실이나, 냉각채널의 위치만을 고려한 개선모델의 변형 억제 결과는 냉각채널 설계의 중요성을 잘 보여주고 있다.

#### 4. 결 론

1) 충전단계 완료 시점, 즉 냉각단계의 초기 온도분포는 짧은 시간동안 수지와 금형의 열전달로 인해 제품 중앙과 끝부분에서 27°C의 비교적 큰 온도 차이를 보이며, 이러한 제품의 온도 차이가 냉각채널의 위치 선정에 영향을 주는 요인임을 확인할 수 있다.

2) 제품의 끝단이 게이트로부터 충분히 먼 경우 해당 부분의 냉각을 위한 냉각채널의 설치보다는 게이트 부근의 냉각이 집중되어야함을 알 수 있다.

3) 냉각단계 종료 시 제품의 낮은 온도 형성은 취출시 변형의 영향을 더 적게 하나 그 한계가 있으며, 이로부터 게이트 부근의 냉각집중이 중요함을 알 수 있다.

4) 제품의 형상에 따라 게이트 위치, 개수, 냉각 채널의 지름과 유량을 조정하여 보다 효과적인 변형억제를 예상할 수 있다.

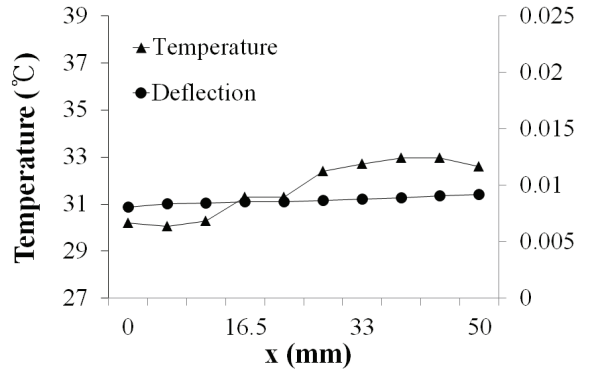


Fig. 8 Temperature distribution and Deflection in y direction for additional cooling channel model

#### 후 기

이 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과이며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 2006, Tang, S.H. Kong, Y.M. Sapunan and S.M Sulaiman, S. "Design and thermal analysis of plastic injection mould," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.171, pp.259-267.
- [2] 2006, Qiao, H. "A systematic computer-aided approach to cooling system optimal design in plastic injection molding," *International Journal of Mechanical Science*, Vol.48, pp.430-439.
- [3] 2010, Guilong, W. Guoqun, Z. Huiping, L and Yanjin, G. "Analysis of thermal cycling efficiency and optimal design of heating/cooling systems for rapid heat cycle injection molding process," *Material and Design*, Vol.31, pp.3426-3441.
- [4] 2010, Hassan, H. Regnier, N. Bot, C.L and Defaye G. "3D study of cooling system effect on the heat transfer during polymer injection molding," *International Journal of Thermal Science*, Vol.49, pp.161-169.
- [5] 2008, Zhen-xing, Z. Wei, X. Zhao-yao, Z and Quan-li, Z. "Numerical simulation of tungsten alloy in powder injection molding process," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol.18, pp.1209-1215.