

열접촉 저항을 고려한 사출금형의 온도분포특성 고찰

김경민¹, 이기연¹, 손동휘¹, 박근[#]

Investigation into Heat Transfer Characteristics of an Injection Mold by Considering Thermal Contact Resistance

Kyung-Min Kim, Ki-Yeon Lee, Dong-Hwi Sohn, Keun Park

(Received December 27, 2010 / Revised January 5, 2011 / Accepted January 12, 2011)

Abstract

In the design of the injection molding process, various parameters including mold design parameters and molding conditions should be investigated to improve part quality. The mold temperature is one of important processing parameters that affect the flow characteristics, surface appearance, part deformation, mechanical properties, etc. Numerical analyses have been used to predict the temperature distribution of the mold under the given cooling or heating conditions. However, conventional analyses have been performed by assuming that the mold material is a single solid even though a number of plates are assembled to construct an injection mold. In the present study, a numerical approach considering the thermal contact resistance is proposed to provide more reliable prediction of the mold temperature distribution by reflecting the heat-resistance between assembled mold plates.

Key Words : Thermal Contact Resistance, Injection Mold, Finite Element Analysis, Heat Transfer Analysis

1. 서론

사출성형은 플라스틱 제품의 대량생산에 널리 활용되는 생산공정으로 고분자 소재를 고온에서 가소화시켜 금형 내부에 고속, 고압으로 분사하여 캐비티 내부를 채워 제품을 성형한다. 사출성형 제품의 품질 향상을 위해서는 게이트 위치 및 개수, 냉각회로 설계, 에어벤트 위치 등의 금형설계 변수와 사출압력 및 속도, 사출온도 및 금형온도, 보압압력 및 속도, 공정별 시간(사출시간, 보압시간, 냉각시간) 등의 성형공정 변수들에 대한 고찰이 필요하다[1].

상기 공정변수중 금형온도(Mold temperature)는 사출성형시 고분자 수지의 유동특성 및 충전완료 후 금형 내부의 열전달 특성에 영향을 미치는 중

요한 변수로서 제품의 유동성, 기계적 특성 등에 영향을 미치고 있다[2]. 금형온도는 성형시에는 고분자 수지의 유동성 향상을 위하여 비교적 높은 온도로 유지시켜주어야 하는 반면, 성형 종료후 제품 취출을 위하여 금형 냉각을 통해 성형부의 온도를 낮춰야 하는 이중적인 특성을 지니고 있다. 상기 이유로 인해 일반적으로 고분자 수지별로 수지의 성형성과 금형의 냉각특성을 종합적으로 고려한 적정 금형온도가 제시되어 있다.

금형의 냉각과정을 살펴보면 통상적으로 금형 내부에 냉각회로(Cooling channel)를 가공하여 냉각수(냉수, 온수, 오일 등)를 흘려줌으로써 강제 대류(Forced convection)을 유발시킴으로써 금형을 냉각시키는 방법을 사용해주고 있다. 일반적으로 적정 금형온도가 100°C 이하인 경우는 온수를 사용

1. 서울과학기술대학교 NID 융합기술대학원
교신저자: 서울과학기술대학교 기계설계 자동화공학부,
E-mail: kpark@seoultech.ac.kr

사용하고, 이상인 경우는 오일 혹은 카드리지 히터를 사용하여 원하는 금형의 온도를 유지해 주고 있다. 이때 후자의 경우는 냉각이라기보다는 가열에 해당하는 경우도 발생하는데, 결과적으로 통상적으로 냉각과정(Cooling process)이라고 통칭되는 과정은 적절한 금형의 온도를 유지해 주기 위한 냉각 혹은 가열 과정으로 생각할 수 있다.

금형의 냉각과정을 통한 온도제어를 위해서는 냉각회로의 적절한 설계가 필수적이다. 이때 냉각회로의 설계시 냉각속도의 향상을 통한 생산성 향상 및 금형 표면온도의 균일화를 통한 성형품의 품질향상 등의 2가지 관점에서 설계가 진행되며, 이를 위해 사출성형 공정의 수치해석을 통한 냉각효율 및 온도분포 특성의 향상에 관한 연구가 발표되고 있다[3, 4].

사출성형의 수치해석중 냉각해석은 경계요소법(Boundary Element Method; BEM) 혹은 유한요소법(Finite Element Method; FEM)을 사용하여 수행된다. 경계요소법의 경우 제품과 냉각회로에 대해서만 유한요소모델을 생성하여 해석을 수행하는 반면[5], 유한요소법의 경우 금형 자체에 대한 3차원 요소를 구성하여 해석을 수행함으로써 금형 내부의 온도분포를 예측할 수 있다[6]. 그러나 3차원 금형에 대한 유한요소해석의 경우 대부분 일체화된 금형을 대상으로 유한요소를 분할하여 해석을 수행하고 있다. 본 연구에서는 사출금형이 여러 부품으로 제작되는 특성을 효과적으로 고려하기 위해 열접촉 저항을 고려한 3차원 유한요소 해석을 통해 금형온도의 분포를 예측하고자 한다.

2. 사출금형의 온도분포 고찰

2.1 사출금형 접촉면의 열접촉저항

사출성형 금형은 일반적으로 몰드베이스 형판(Mold plate)에 성형부의 형상을 가공한 금형 코어부(Core)를 삽입하는 형태로 제작된다. 이때 금형의 원활한 조립을 위해 형판의 홈 치수와 코어부의 외곽치수에는 수~수십 μm 의 공차를 부여해 주는데, 이로 인해 접촉면에서의 열접촉 저항(Thermal contact resistance)이 발생하는 요인이 된다. 또한 공차가 부여되지 않은 조립면에서도 접촉부 표면의 표면거칠기에 의해 열접촉 저항이 발생된다.

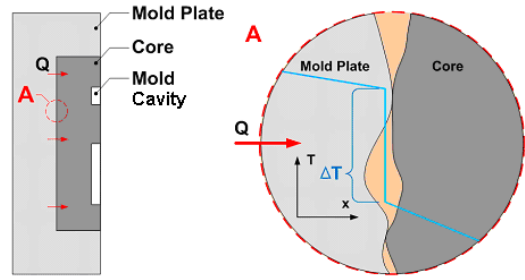


Fig. 1 Schematic description of thermal contact resistance between contact surfaces

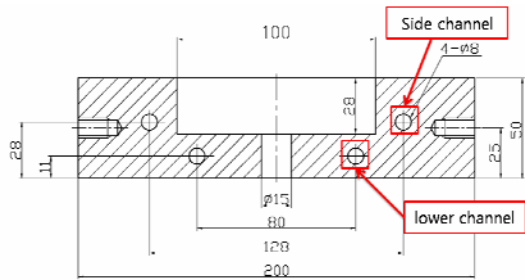


Fig. 2 Sectional configuration of the test mold plate

Fig. 1에 접촉면에서의 표면거칠기에 의한 열접촉 저항의 발생 메커니즘을 개념적으로 도시하였다. 그림과 같이 금형 형판과 코어부에서 접촉면 표면의 요철부의 영향으로 부분적인 접촉이 발생하며, 접촉부 사이에는 공기층이 존재하게 된다. 이때 공기층의 열전도계수가 금형재료에 비해 현저하게 낮아 접촉면에서의 열전달 측면에서 저항역할을 하게 되고, 결과적으로 접촉면을 경계로 열전달 손실에 의한 온도 강하가 발생하게 된다.

2.2 금형온도분포 측정실험 개요

본 연구에서는 금형형판과 코어부간 조립부의 접촉면에서의 열접촉 저항에 의한 온도분포 특성을 고찰하기 위해 Fig. 2와 같은 시험용 금형을 제작하였다. 가로, 세로의 길이가 200mm인 형판에 100mm 크기의 사각홈 가공을 실시하여 코어부를 삽입할 수 있도록 설계하였다. 이때 코어부 삽입을 위해 측면부에 0.1mm의 공차를 부여하였다. 또한 냉각회로의 위치에 따른 열접촉 저항의 영향을 고찰하기 위해 코어부 하부(Lower channel)와 측면부(Side channel)에 각각 2개씩의 직선형 회로를 구성하였다.

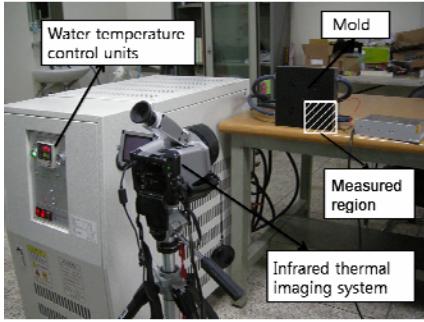


Fig. 3 An experimental setup to measure the mold temperature distribution

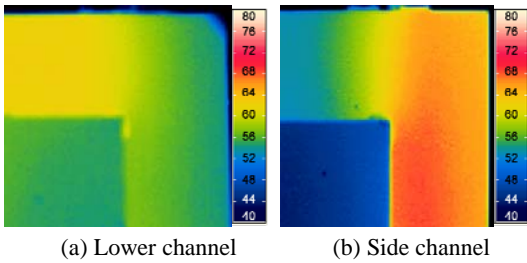


Fig. 4 Measured temperature distributions

상기 금형의 냉각회로에 온수를 공급한 경우 금형표면의 온도분포를 측정하기 위한 실험을 실시하였다. Fig. 3에 시험금형과 온도조절기, 열화상 카메라로 구성된 실험장치에 대해 도시하였다. 온도조절기는 (주)현대에프에이의 HF-60모델(출력: 6.75kW)을 사용하였다. 실험은 상온에서 수행되었으며, 온도조절기의 온도를 80°C, 가열시간을 300초로 설정하였다. 실험시 온수의 위치를 각각 하부 회로(Lower channel)와 측부 회로(Side channel)로 구분하여 실험을 실시하였다.

2.3 금형온도 측정결과 고찰

Fig. 4에 하부 회로와 측부 회로에 온수를 주입한 후 300초 경과시 금형표면의 온도분포를 도시하였다. 측정은 온수가 대칭성을 고려하여 Fig. 3에 표시된 1/4 영역을 대상으로 하였다. 하부 회로에 온수를 주입한 경우 금형 형판과 코어부간의 온도차이가 발생함을 확인하였으며(Fig. 4(a) 참조), 그림상으로 온수가 코어부의 상하를 관통하여 흐르는 점을 감안할 때 코어부의 온도가 상대적으로 높게 나타나야 함에도 불구하고 오히려 상부 형판보다도 온도가 낮게 나타남을 알 수 있다.

반면 측부에 온수를 주입한 경우(Fig. 4 (b) 참조)에는 코어 우측에서 흐르는 온수의 영향으로 인해 금형 중심쪽으로 열전달이 진행되는데, 코어부의 온도가 주변 형판(코어부 상측)의 온도보다 낮게 나타남을 알 수 있다. 이러한 온도변화를 관찰할 때 코어부와 형판간의 접촉부위에서의 접촉저항에 의해 열전달특성에 차이가 발생함을 알 수 있다.

보다 정량적인 고찰을 위해 각각에 대한 금형 표면의 온도변화를 Fig. 5에 그래프로 비교하였다. 이때 거리는 금형표면 중심부로부터 외측(Fig. 4 기준 +x 방향) 까지의 거리로 정의하였다. 그래프를 보면 우선 반면 하부에 온수를 주입한 경우에는 온수가 흐르는 코어 주변의 온도가 높아야 함에도 불구하고 주변 형판부위와 별다른 차이를 보이지 않음을 알 수 있다. 이는 코어의 바닥면과 형판간의 열접촉 저항에 의해 온수의 열에너지가 코어부로 제대로 전달되지 않기 때문인 것으로 분석된다. 오히려 코어부와 인접한 형판부(중심으로부터의 거리 50mm 부근)의 온도가 2°C정도 높게 나타난 점이 이러한 사실을 뒷받침하고 있는 것으로 분석된다.

반면 측부에 온수를 주입한 경우에는 코어부와 형판측과의 온도차가 최대 21.97°C 만큼 발생함을 알 수 있다. 이는 형판과 코어면과의 열접촉 저항으로 인해 측부 온수로 인한 형판의 열에너지가 코어부로 제대로 전달되지 않음을 의미한다. 이러한 사실로부터 실제 사출성형시 원하는 금형온도는 제품이 성형되는 코어부임에도 불구하고 형판의 열에너지가 제대로 전달되지 않아 성형공정에서 제어하는 금형온도(온수 온도, 히터온도 등)과 실제 금형온도와의 차이가 발생하게 됨을 알 수 있다.

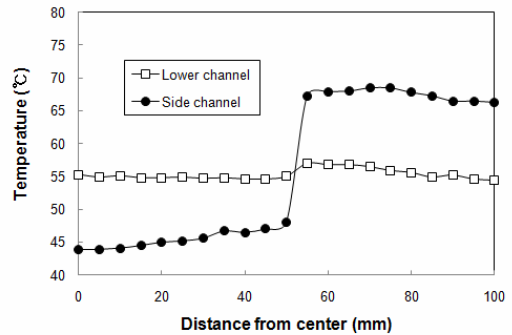


Fig. 5 Comparison of the distributions of mold surface temperature (after 300s heating)

3. 해석을 통한 금형온도분포 예측

3.1 일체형 해석에 의한 금형온도 예측

본 연구에서는 온수주입시 금형의 온도분포를 계산하여 2 장에서 기술한 실험결과와 비교하기 위해 3 차원 유한요소해석을 적용하였다. 해석은 ANSYS™ 를 사용하여 수행하였으며, 대칭성을 고려하여 전체 금형의 1/4 형상에 대해 일체형으로 유한요소 모델을 생성하였다. 금형재료는 형판과 코어부 모두 탄소강(S45C)을 사용하였으며, Table 1 에 주요 물성을 요약하였다.

금형의 초기온도는 25℃로 설정하였고, 2 개의 냉각회로(하부, 측부)에 각각 온수를 주입한 경우에 대해 300 초간 해석을 수행하였다. 온수의 온도는 대상 시간의 평균치인 73.46℃로 부과하였으며, 금형 외측의 대류 열전달계수는 각각 5 W/m²-K 로 설정하였다. 반면 온수의 흐름에 의한 회로 내에서의 대류 열전달계수(*h*)는 식 (1) 의 Dittus-Boelter 식으로 계산하여 18550 W/m²-K 으로 설정하였다.

$$Nu = \frac{hD}{k} = 0.023Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (1)$$

여기서 *D*는 냉각회로의 직경, *k*는 열전도계수를 의미하며, *Re*는 유체의 Reynolds수, *Pr*은 Prandtl 수를 의미한다.

Table 1 Thermal prosperities for the FE analysis

Material	S45C	Air
Density (kg/m ³)	7850	1.161
Specific heat (J/kg-K)	486	1007
Thermal conductivity (W/m-K)	49.8	0.0263

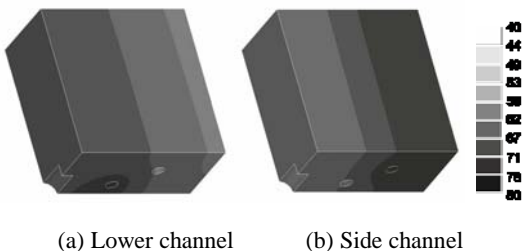
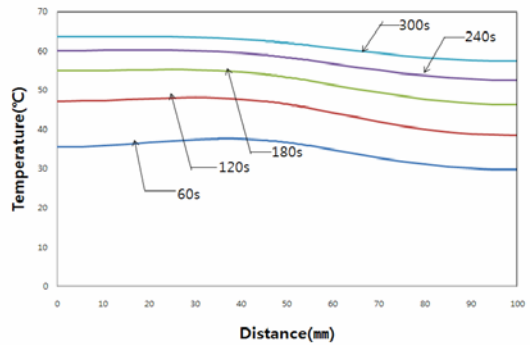
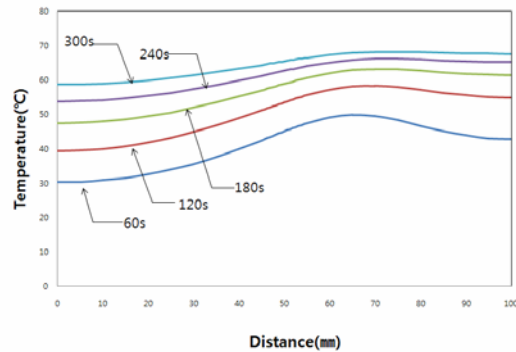


Fig. 6 Mold temperature distributions according to the channel locations (unit: °C)



(a) Lower channel



(b) Side channel

Fig. 7 Temperature profiles on the mold surface

Fig. 6 의 (a)와 (b)에 각각 하부와 측부의 온수 주입의 경우에 대해 계산된 금형의 온도분포를 도시하였다. 전반적으로 온수주입구 위치에 따른 1 차원 분포를 보여 Fig. 4 에 도시된 금형표면의 온도분포 측정치와 차이를 보였다. 특히 하부 온수주입의 경우 금형 내측(코어부)의 온도가 형판부의 온도보다 높게 나타나는 반면 측부 온수주입의 경우 금형 외측(형판부)의 온도가 높게 나타나 Fig. 4(b)에 도시된 실험결과와 차이를 보임을 알 수 있다. 이러한 차이는 해석시 금형의 재질이 동일한 관계로 코어부와 형판부가 일체화된 형태로 유한요소 모델이 구성되었기 때문으로 판단된다.

정량적인 고찰을 위해 2가지 경우에 대한 금형 표면의 온도변화를 Fig. 7에 그래프로 비교하였다. 이때 온수주입시간 60초에서 300초까지 60초 간격으로 변화시켜가며 해석을 수행하였다. 그래프를 보면 우선 하부에 온수를 주입한 경우 (Fig. 7(a) 참조)에는 온수주입구가 위치한 지점, 즉 중심으로부터 40mm 지점의 온도가 상대적으로

로 높게 나타나며, 시간이 지날수록 금형 내부에서의 열전도에 의해 점차적으로 온도분포가 균일해짐을 확인할 수 있다.

마찬가지로 측부에 온수를 주입한 경우(Fig. 7 (b) 참조) 역시 온수주입구가 위치한 64mm 지점의 온도가 상대적으로 높게 시간이 증가함에 따라 온도상승의 폭이 둔화되어 점차적으로 정상 상태에 도달해감을 알 수 있다. 또한 온수의 위치에 관계 없이 전반적으로 부드러운 변화를 보여 Fig. 5에 도시된 실험결과 그래프와 차이를 보임을 알 수 있다. 이러한 현상으로부터 통상적으로 사용되는 일체형 금형을 대상으로 한 해석으로는 코어부와 형판부의 접촉면에서 발생하는 열접촉 저항을 효과적으로 고려하지 못함을 확인할 수 있었다.

3.2 열접촉저항을 고려한 금형온도 예측

열접촉 저항은 2개의 물체가 접촉하고 있을 경우 접촉면 사이의 미세한 간격이나 표면거칠기 등으로 인해 접촉면 양측의 온도에 차이가 발생하는 현상을 의미한다[8]. 즉 2개의 고체면이 완전히 접촉하지 않은 상태로 그 사이에 미세한 유막이 형성되어 정상적인 전도열전달이 진행되지 못하게 되어 접촉면 양측의 온도차가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서의 해석 대상인 코어부가 삽입된 금형 형판의 경우에 코어부 외곽면 및 형판 가공부의 표면거칠기로 인해 경계면에서의 열접촉 저항이 발생됨은 물론 금형조립을 위한 치수공차에 의한 열접촉 저항이 공존하게 된다.

열전달 해석시 열접촉 저항을 고려하기 위해서는 접촉 경계면에서의 열접촉 저항값(Thermal contact resistance)을 측정하여 사용하는 방법이 있으나, 이를 위해서는 접촉면의 상태에 따라 실험을 통해 측정해야 하는 번거로움이 수반된다. 본 연구에서는 ANSYS™에서 제공하는 접촉 전도요소(Conduction link element)를 사용하여 금형면 사이의 열접촉 저항을 고려하였다[9]. 접촉 전도요소의 정의를 위해서는 층의 두께와 물성을 정의해야 한다. 본 연구에서는 접촉전도요소의 물성은 Table 1에 제시된 공기의 물성을 부여하였다. 한편 접촉전도요소, 즉 공기층의 두께는 접촉부위별로 차이가 발생하며 중력 방향에도 영향을 받게 된다.

본 연구에서는 열접촉 저항 고려를 위한 전도

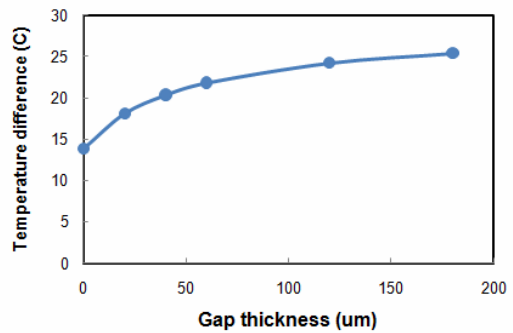


Fig. 8 Variation of the temperature difference according to the gap thickness

요소층의 두께를 산정하기 위해 다음과 같은 방법으로 접근하였다. 우선 코어부 외측면의 치수와 형판의 가공부 치수를 측정된 결과 측면 요소층의 두께를 110 μ m로 산정하였다. 반면에 코어부 바닥면의 경우는 코어부의 자중에 의해 형판 가공면과 밀착하게 되므로 단순한 측정치로 부여할 수는 없고 대신 수치해석적인 접근방법을 적용하였다.

우선 코어부 바닥면의 표면조도를 측정된 결과 최대 요철값이 180 μ m로 측정되었다. 따라서 자중에 의한 요철부의 탄성변형을 고려할 때 접촉 전도요소층의 두께는 180 μ m 이하의 값으로 추론할 수 있으며, 이에 따라 바닥면 전도요소층의 두께를 변화시켜가며 열전달해석을 수행하였다. 이때 해석은 코어부와 형판부의 온도차이가 크게 나타난 측부채널 온수주입 조건으로 수행하였다. 해석결과의 정량적인 고찰을 위해 형판부와 코어부 표면에서의 온도차이(Temperature difference, ΔT)를 정의하여 비교하였다. Fig. 8에 바닥면 전도요소층 간격에 따른 온도차이의 변화를 도시하였다.

Fig. 8의 그래프로부터 바닥면 전도요소층의 두께(Gap thickness, t_{gap})와 금형형판과 코어부의 온도차이(ΔT)의 관계식은 회귀분석을 통해 식 (2)와 같은 거듭제곱 함수의 형태로 표현할 수 있다.

$$\Delta T = 13.836 + 1.1814 (t_{gap})^{0.4514} \quad (2)$$

상기 회귀식에서 결정계수(R^2)값은 0.9771로 계산되어 데이터를 잘 표현함을 확인할 수 있었다. 실제 실험결과로부터 금형 형판과 코어부의 온도차이는 20.72°C로 측정되었고(Fig. 6 참조),

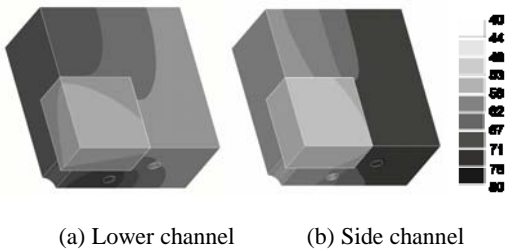


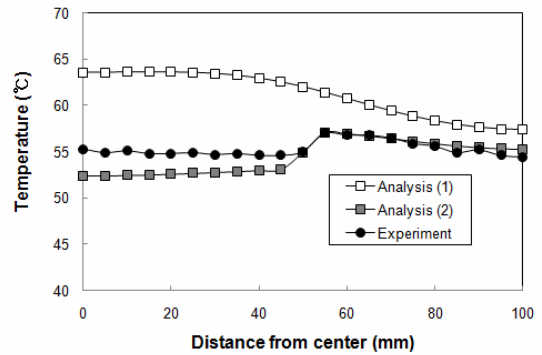
Fig. 9 Mold temperature distributions according to the channel locations (unit: °C)

이를 식 (2)에 대입한 결과 실험결과를 만족시키는 바닥면 전도요소층의 두께는 49.63 μm 로 계산되었다. 상기 결과를 토대로 전도요소층의 두께를 50 μm 로 설정하여 해석을 수행하였다.

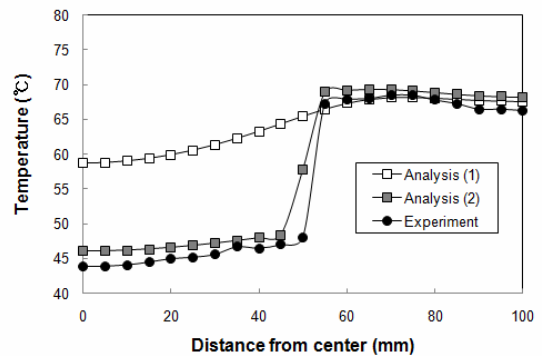
Fig. 9의 (a)와 (b)에 열접촉 저항을 고려한 경우 하부와 측부의 온수주입의 경우에 대해 계산된 금형의 온도분포를 도시하였다. 3.1절에서 수행한 일체형 금형모델의 해석 결과(Fig. 6 참조)에서 금형 표면의 온도분포가 온수주입구 위치에 따른 1차원 분포를 보인 반면, 열접촉 저항을 고려한 경우는 금형 코어부와 형관부 사이의 온도차이가 분명하게 나타나는 2차원적인 변화를 확인할 수 있었다. 특히 코어부의 온도가 형관부의 온도보다 낮게 나타나는 현상이 Fig. 4에 도시된 실험결과와 유사함을 확인할 수 있었다.

보다 정량적인 고찰을 위해 각각에 대한 금형 표면의 온도변화를 Fig. 10에 그래프로 비교하였다. 열접촉 저항의 고려 유무에 따른 해석결과의 차이를 고찰하기 위해 3.1절에서 기술한 일체형 금형에 대한 해석결과(Analysis 1)와 전도요소층의 두께를 50 μm 로 설정하여 열접촉 저항을 고려한 해석결과 (Analysis 2)의 경우를 실험결과와 비교하였다.

Fig. 10(a)는 하부 온수주입의 경우 금형표면의 온도분포이다. 실험결과를 보면 코어부(중심으로부터의 거리 0~45mm)에서 55°C 부근의 온도분포를 보이다가 형관과의 경계면(50mm 부근)에서 2°C 정도의 상승을 보이고 이후 서서히 감소하는 경향을 보임을 알 수 있다. 열접촉 저항을 고려한 해석결과(Analysis 2)의 경우 코어부 온도가 53°C 부근으로 나타나는 등 약간의 오차는 존재하나 경계면에서의 온도차이가 발생하는 경향이 실험결과와 유사하게 나타났다. 따라서 열접촉 저항이 고려되지 않은 해석결과(Analysis 1)



(a) Lower channel



(b) Side channel

Fig.10 Comparisons of temperature profiles on the mold surface

와 비교할 때 해석의 신뢰도가 향상되었음을 확인할 수 있었다.

Fig. 10(b)는 측면부에 온수를 주입한 경우의 금형표면의 온도분포이다. 실험결과를 보면 형관 측면부(중심으로부터의 거리 55~100mm)에서 65°C 부근의 온도분포를 보이는 반면 코어부 온도는 50°C 이하로 떨어져 열접촉 저항으로 인해 열전달이 정상적으로 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 해석결과를 보면 열접촉 저항을 고려한 해석결과(Analysis 2)의 경우 이러한 경향이 유사하게 모사되어 열접촉 저항이 고려되지 않은 해석결과(Analysis 1)와 비교할 때 해석의 신뢰도가 향상되었음을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 사출금형의 조립특성을 감안하여 코어부와 금형 형관간의 열접촉 저항을 고려

한 해석 기법에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 금형 형판에 코어부가 삽입된 구조의 금형에 온수를 주입하였을 경우 코어부와 형판부의 경계면에서 열접촉 저항에 의해 온도차가 발생하는 현상을 실험적으로 확인하였다.

(2) 상기 문제에 대해 기존의 해석방법으로는 유사한 결과를 얻을 수 없음을 확인하였고, 경계면에서의 열접촉 저항을 고려하기 위해 공기층으로 구성된 접촉전도요소를 사용하였다.

(3) 접촉 전도요소층의 적정 두께를 선정하기 위해 두께를 변화시켜가며 해석을 수행하였고, 해석결과를 회귀분석을 통해 적정 요소층의 두께를 50 μm 로 선정하였다.

(4) 선정된 요소층의 두께를 적용하여 해석을 수행한 결과 경계면에서의 열접촉 저항의 영향이 적절히 반영되어 실험결과와 유사한 온도분포를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업의 지원으로 수행된 연구 결과로 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] K. Park, J. H. Ahn, 2004, Design of experiment considering two-way interactions and its application to injection molding processes with numerical analysis, J. Mater. Process. Technol., Vol. 146, pp. 221~227.
- [2] K. Park, Y. S. Kim, 2009, Effect of mold temperature on mechanical properties, J. Polym. Engng., Vol. 32, pp. 1221~1230.
- [3] K. Himasekhar, J. Lottey, K. K. Wang, 1992, CAE of mold cooling in injection molding using a three-dimensional numerical simulation, Trans. ASME: J. Engng. Ind., Vol. 114, pp. 213~221.
- [4] S. J. Park, T. H. Kwon, 1998, Optimal cooling system design for the injection molding process, Polym. Engng. Sci., Vol. 38, pp. 1450~1462.
- [5] H. Qiao, 2005, Transient mold cooling analysis using BEM with the time-dependent fundamental solution, Int. Comm. Heat Mass Transf., Vol. 32, pp. 315~322.
- [6] Y. W. Lin, H. M. Li, S. C. Chen, C. Y. Shen, 2005, 3D numerical simulation of transient temperature field for lens mold embedded with heaters, Int. Comm. Heat Mass Transf., Vol. 32, pp. 1221~1230.
- [7] D. H. Sohn, Y. S. Seo, K. Park, 2010, 3-d finite element analysis of the induction heating procedure of an injection mold, Trans. Mater. Process., Vol. 19, pp. 152~158.
- [8] M. G. Cooper, B. B. Mikic, M. M. Yovanovich, 1969, Thermal contact conductance, Int. J. Heat Mass Transf., Vol. 12, pp. 279~300.
- [9] S. Chung, 2008, Heat Transfer Analysis, Taesung Software & Engineering.