

Lecture 13-8~9

금형 온도제어 및 Air Vent 설계

2018
노명재

본 강의 목표

1. 금형의 온도 조절의 목적과 필요성을 알아본다.
2. 금형의 열의 정량적 해석에 대해 알아본다.
3. 냉각회로 설계 방법 및 유의점을 배운다.
4. Air Vent 설치 방법을 알아본다.

학습 순서

1. 금형 온도조절의 목적 및 필요성
2. 금형 온도조절의 열적 해석
3. 냉각회로 설계방법
4. 냉각회로 설계 유의점
5. 냉각수 누수방지
6. Air Vent 설계
7. 관련 참조 동영상

1. 금형 온도조절의 목적 및 필요성

● 금형 온도조절의 목적

- 1) 성형 Cycle 시간의 단축
- 2) 성형성의 개선
- 3) 성형품 표면 상태 개선
- 4) 성형품 강도 저하 방지
- 5) 성형품의 형상과 치수정밀도 유지

● 금형 온도조절의 필요성

- 1) 성형성 및 성형 능력과의 관계 : 금형온도를 저온으로 유지, Shot 수를 증가시키는 것이 이상적이거나, 성형 Cycle을 희생하더라도 금형의 온도를 높게 하여 필요 성능을 만족해야 하는 경우가 있음. → **교재 p331 표 8.1 참조**
- 2) 제품 품질과의 관계
 - ① 제품의 변형 : 제품두께의 불균일, 냉각속도의 불균일 → 변형 불가피 (냉각속도에 의한 변형은 온도조절로 개선 가능)
 - ② 성형수축률 : 금형 온도가 높을수록 성형수축률이 커짐 → 비틀림, 휘어짐 등의 변형 원인
 - ③ 제품의 광택 및 외관 : 금형 온도가 너무 낮으면 → 광택 나빠짐, Flow Mark, Weld Line 유발
 - ④ 제품의 물리적 성질 : 금형 온도가 낮으면 수지가 빨리 고화되므로 사출압력을 높여야 함 → 제품 내부 응력 (잔류 응력)

2. 금형 온도조절의 열적 해석(1)

1) 금형 온도조절에 필요한 전열 면적(1)

① 이동열량

Q : 수지에서 금형으로 단위시간당 이동하는 열량 (kcal / hr)

S_n : 매 시간당 Shot수 (회 / hr)

W : 1 Shot당 사출되는 수지량 (kgf / 회)

C_p : 수지의 비열 (kcal / kgf·°C)

t_i : 수지의 용융온도 (°C)

t_o : 성형품을 꺼낼 대의 온도 (°C)

$$Q = W \cdot S_n \cdot C_p \cdot (t_i - t_o) \quad (Q = C_p \cdot m \cdot \Delta t)$$

② 경막 전열계수 (냉각수 구멍의 벽과 냉각 매체 사이의 경계막 열전도 계수)

h_w : 경막 전열계수 (kcal / m²·hr·°C)

d : 냉각수 구멍의 지름 (m)

λ : 냉매의 열전도율 (kcal / m·hr·°C)

μ : 점도 (kgf / m·hr)

v : 유속 (m / hr)

ρ : 비중 (kgf / m³)

$$h_w = \frac{\lambda}{d} \left(\frac{d \cdot v \cdot \rho}{\mu} \right)^{0.8} \times \left(\frac{C_p \cdot \mu}{\lambda} \right)^{0.3}$$

2. 금형 온도조절의 열적 해석(2)

1) 금형 온도조절에 필요한 전열 면적(2)

③ 소요 전열 면적

A : 전열 면적 (m^2)

ΔT : 금형과 냉매와의 평균 온도차 ($^{\circ}C$)

$$A = \frac{Q}{h_w \cdot \Delta T}$$

2) 냉각수의 수량

W : 통과하는 냉각수량 (l / hr)

W_p : 시간당 사출율량(cm^3 / hr)

C_p : 수지의 비열 ($kcal / kgf \cdot ^{\circ}C$)

r : 수지의 용해잠열 ($kcal / kgf$)

K : 냉각수의 열전도 효율 (일반적으로 Cavity에서 0.64, 배관에서 0.5)

T_1 : 수지의 용융온도 ($^{\circ}C$)

T_2 : 금형의 온도 ($^{\circ}C$)

T_3 : 냉각수의 배수 온도 ($^{\circ}C$)

T_4 : 냉각수의 급수 온도 ($^{\circ}C$)

$$W = \frac{W_p [C_p (T_1 - T_2) + r]}{K (T_3 - T_4)}$$

* 냉각수 구멍의 직경에 대한 수량 한계 → 교재 p334 표 8.3 참조

2. 금형 온도조절의 열적 해석(3)

3) 금형의 냉각 시간

: 성형품의 **최대 살두께**에 의해 결정 됨

S : 냉각에 소요되는 최소 시간 (sec)

t : 성형품 최대 살두께(츠) (양측 냉각일 때는 $\frac{t}{2}$)

α : 수지의 열 방사율

T'_2 : 성형품 꺼낼 때의 온도 (°C)

T_2 : 금형의 온도 (°C)

T_1 : 수지의 용융온도 (°C)

ρ : 수지의 비중 (kgf / cm³)

C_p : 수지의 비열 (kcal / kgf·°C)

λ : 수지의 열전도율 (kcal / m·hr·°C)

$$S = \frac{-t^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left[\frac{\pi}{4} \left(\frac{T'_2 - T_2}{T_1 - T_2} \right) \right]$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p}$$

* 냉각수 구멍의 직경에 대한 수량 한계 → 교재 p334 표 8.3 참조

2. 금형 온도조절의 열적 해석(4)

4) 금형 가열 Heater의 용량

: PC, PMMA, PET, PPO(PolyPhenylonOxide) 등 고점도 수지의 유동성을 좋게 하기 위해 사출전 금형을 가열함

P : Heater의 용량 (kW)

K : 제어부 (Hot Runner Block)의 금형 중량 (kgf)

C : 금형재료의 비열(kcal / kgf·°C) (고탄소강의 경우 0.115 kcal / kgf·°C)

t_1 : 상승 희망 온도 (°C)

t_2 : 대기 온도 (°C)

η : Heater의 효율 (0.5 ~ 0.7)

T : 상승 희망 시간 (hr)

$$P = \frac{K \cdot C(t_1 - t_2)}{860 \cdot T \cdot \lambda}$$

* 4.3절의 Heater용량 수식과 동일

3. 냉각수로 설계방법(1)

1) 냉각수 구멍의 지름

① 냉각수 구멍이 원형일 때

: 냉각수 구멍 지름 (d) : 8 ~ 25mm (10~12mm가 최적)이며 성형품 두께에 따라 아래와 같다.

- ① 성형품의 평균 두께 2mm까지 : d = 8 ~ 10mm
- ② 성형품의 평균 두께 4mm까지 : d = 10 ~ 12mm
- ③ 성형품의 평균 두께 6mm까지 : d = 12 ~ 14mm

② 원형 이외의 홈(Groove) 단면 형상(3가, 4각 등)일 때 → 환산 상당지름(Relative Diameter)을 사용

- d_r : 상당지름 [수력학적 지름] (mm)
- A_r : 홈(Groove)의 단면적 (mm²)
- l_r : 단면주위의 둘레 (mm)

$d_r = 4 \cdot \frac{A_r}{l_r}$	구분	수력반지름	상당지름
	원	$\frac{D}{4}$	D
	직사각형	$\frac{ab}{2(a+b)}$	$\frac{2ab}{(a+b)}$
	정사각형	$\frac{b}{4}$	b
	정삼각형	$\frac{\sqrt{3}b}{12}$	$\frac{b}{\sqrt{3}}$

2) 냉각수 구멍의 배치

① 냉각수 구멍의 Pitch : P

$$P = (2.5 \sim 5)d$$

② Cavity 벽면에서 냉각수 구멍 중심까지의 거리 : c

$$c = (2 \sim 3)d$$

3. 냉각외로 설계방법(2)

3) 냉각수 구멍의 길이

L : 냉각수 구멍의 길이 (m)

Q : 단위 시간당 수지로부터 금형으로 이동하는 열량 (kcal / hr)

W : 냉각수량 (m³ / hr)

C_w : 냉각수의 비열 (kcal / kgf·°C)

ρ_w : 냉각수의 비중 (kgf / m³)

d : 냉각수 구멍의 직경 (m)

h_w : 경막 전열계수 (kcal / m²·hr·°C)

T : 금형온도와 입구에서의 냉각수 온도와의 차 (°C)

$$L = \frac{2 \cdot Q \cdot W \cdot C_w \cdot \rho_w}{\pi \cdot d \cdot h_w (2 \cdot T \cdot W \cdot C_w \cdot \rho_w - Q)}$$

4. 냉각회로 설계 유의점

- 1) 냉각회로 구멍이 Ejector 기구보다 우선
- 2) 냉각회로는 Sprue나 Gate 등 금형온도가 높은 곳에 냉각수가 먼저 유입되도록 설계 → 교재 p337 그림 8.1 참조
- 3) 제품형상에 따라 설계 → 교재 p337 그림 8.2 참조
- 4) 고정측 형판과 가동측 형판 독립적 조정가능하게 설계
- 5) PE같은 성형수축률이 큰 수지는 수축방향에 따라 냉각수로 설치 (성형품 변형 최소화)
- 6) 냉각수 구멍의 위치는 성형부에서 최소 10mm이상
- 7) 직경이 가늘고 긴 Core Pin에는 물 또는 압축공기 통과 → 교재 p338 그림 8.3 참조
- 8) 냉각수 입구 온도와 출구 온도 차이 **2°C이하**로 되게 설계 최적화 요망
- 9) 큰 냉각수 구멍 1개보다 가늘고 많은 냉각수 구멍이 더 효과적
- 10) 누수문제, 방청 등 고려하여 간단한 구조로 할 것
- 11) 냉각수 구멍의 설계 예
 - ① Cavity부의 냉각회로 → 교재 p338 그림 8.4 참조
 - ② Core부의 냉각회로 → 교재 p339 그림 8.5 참조

5. 냉각수 누수방지

☞ 온수 및 냉수를 금형 온도 조절 효과를 위해 5 ~ 10kgf / cm²의 수압으로 순환 → Seal 불완전 시 누수 원인

1) 밀폐제를 사용하는 방법

- ① 0.15mm이하의 틈에 사용
- ② 굳은 후 사용 온도 범위 : -55 °C ~ +200 °C

2) O-Ring을 사용하는 방법 → 교재 p341 그림 8.4 참조

- ① 금형을 분해 할 경우를 고려하여 사용
- ② 작고 싸며, 내열, 내유, 내마모성이 좋아 편리함
- ③ 금형 온도에 따라
 - ⓐ 합성 고무
 - ⓑ 천연 고무
 - ⓒ 실리콘
 - ⓓ 플루오르화 고무
- ④ O-Ring을 끼울 홈은 조립 후 10%정도 변형되는 치수 로 가공

6. Air Vent 설계

● Air Vent (가스 배출구)

- 1) 용융수지 충전시 Runner 및 Cavity 내부공기가 금형 외부로 빠져 나가도록 만든 통로
- 2) 충전된 용융수지에서 발생하는 휘발성 물질, 수증기 등도 빠져 나가도록 설계 시 고려

● Vent 불량 시 문제점

- 1) **태움** : 공기 빠지는 속도보다 수진 충전 속도가 빠르면 공기 압축으로 온도 급상승하여 수지가 타게 됨 (흑색, 흑갈색)
- 2) **Short Short** (충진 불량, 미성형) : 폐쇄된 Cavity 내의 공기저항으로 용융수지의 충진이 저지 됨
- 3) **Flash** : Cavity 내 가스가 용융수지에 밀려 Parting 면을 벌려 Flash 발생
- 4) 기타 : 가스빼기 불량으로 **기포**, **은줄**, **광택불량**, **성형불량**, **치수불량**의 원인

● Air Vent 설치 방법

- 1) 밀핀(Ejector Pin)을 이용 : 밀핀과 밀핀 구멍과의 틈새를 이용 (0.01 ~ 0.03mm정도 : 정밀금형에서는 효과 약함)
- 2) Core Pin을 이용 : 제품 일부에 Boss나 Rib가 있을때에 Core Pin 주위에 틈새를 설치하여 가스를 빼는 방법
- 3) 분할 형상의 Insert Block에 의한 방법 : 깊은 성형품, 높은 Rib의 성형품은 Cavity나 Core를 분할형상의 Insert Block으로 해 틈새 이용
- 4) 진공 흡입에 의한 방법 : 진공 펌프 이용하여 Cavity 내의 가스를 빼내는 방법
- 5) Parting Line (분할면)에 Air Vent 설치 방법 (가장 많이 사용함)

: Parting Line을 따라 홈(Groove)를 설치 → 교재 p344 그림 9.1, 표 9.1 참조

7. 관련 참조 동영상

- Cavity Cooling Design (with NX) : https://www.youtube.com/watch?v=cNqTPXZS_R8
- Core Cooling Design (with NX) : <https://www.youtube.com/watch?v=-cPeebv2K6o>
- Modeling Cooling Circuits (PPT) : <https://www.youtube.com/watch?v=gp0MSbdWrvw&app=desktop>
- Air Vent in Ejector Pin : <https://www.youtube.com/watch?v=oK1bDOXA0yA>
- 진공 흡입 Air Vent : <https://www.youtube.com/watch?v=w4uG0HgffDo>

Report

■ 없음.

*** Remark : 반드시 Report는 손으로 직접 써서 제출할 것**

참조출처

▣내용참조 : 사출성형금형설계, 김재원 외 2인, 선학출판사

▣Website 참조 1 : CUMSA <https://www.cumsa.com/>

<https://www.youtube.com/user/Cumsainnovative?app=desktop>

▣Website 참조 2 : Ermanno Balzi S.r.l. <http://www.ermannobalzi.com/>

<https://www.youtube.com/user/ERMANNOBALZISRL>

▣삽화출처 : 내용에 언급 함