

회전성형기의 품질 향상을 위한 냉각 조건에 관한 연구

강정석¹, 김인², 이명재¹, 윤재영^{1*}

¹전북대학교 기계시스템공학과, ²Siemens Industry Software

A Study on Cooling Condition for Quality Improvement of Rotary Molding Machine

Jeong-Seok Kang¹, In Kim², Myungjae Lee¹, Jai-young Yoon^{1*}

¹Division of Mechanical Engineering, Chonbuk National University

²Siemens Industry Software

요약 산업 현장에서 많이 사용하는 증공형 제품에 대한 성형은 가열과 냉각에 의해 회전 성형하게 된다. 제품에 대한 품질 향상을 위해 균일한 냉각이 필요하고, 생산성 향상을 위해 빠른 시간의 냉각이 요구된다. 본 논문에서는 팬에 의한 강제 냉각이 없는 경우와 팬에 의한 강제 냉각이 있는 경우로 크게 냉각 조건을 구분하였다. 또한, 팬에 의한 강제 냉각이 없는 경우에 대하여 성형기가 수평으로 정지해 있는 조건과 수직으로 정지한 조건으로 구분하였다. 그리고 팬에 의한 강제 냉각을 확인하기 위해 팬이 가동되지 않은 상태에서 성형기만 회전하는 조건과 하부의 팬만 작동하는 경우, 상단과 하단의 팬이 작동하는 조건으로 설정하였다. 이와 같이 성형기의 냉각의 결과를 여러 조건의 공기 냉각 조건에 대해 회전성형기의 표면 온도를 STAR-CCM+ 프로그램으로 해석한다. 총 5개의 조건에 대해 회전성형기의 온도 분포를 해석하였으며, 각 조건에서 냉각에 대한 성형기의 표면 온도 분포를 비교하였다. 5개의 Case 중 Case4가 900sec 후 약 35℃로 가장 낮았다.

Abstract The molding for hollow products used widely in industry is rotational molding by heating and cooling. Uniform cooling is required to improve the quality of the product, and rapid cooling is required to improve the productivity. In this paper, the cooling condition is largely classified into the case of no forced cooling by the fan and forced cooling by the fan. In addition, when forced cooling by the fan is not performed, the condition for stopping the molding machine horizontally and the condition for stopping the molding machine vertically were classified. To confirm the forced cooling by the fan, the conditions were set such that only the molding machine rotates while the fan is not running and the upper and lower fans operate when only the lower fan is operated. The surface temperature of the rotary molding machine was analyzed by the STAR-CCM+ program for the case of air-cooling. The temperature distribution of the rotary molding machine was analyzed for five conditions and the temperature distribution for cooling was compared under each condition. Among the five cases, Case 4 was lowest at approximately 35 °C after 900sec.

Keywords : Rotality Molding, Uniform, Cooling, CFD, Surface Temperature

1. 서론

산업 현장에서 사용하는 회전성형은 플라스틱 분발 소

재를 금형 내부에 투입하고 금형을 회전/가열하여 소재를 금형 내부에 일정 두께로 소재 성형하고, 다시 회전/냉각하여 증공형 제품을 성형하는 방법으로 주변의 많은

*Corresponding Author : Jai-young Yoon(Chonbuk National Univ.)

email: yoonjy@jbnu.ac.kr

Received July 9, 2019

Accepted December 6, 2019

Revised October 7, 2019

Published December 31, 2019

제품들이 이러한 회전성형으로 만들어진다. 증공형 제품들에 대한 성형 시 회전성형을 이용하여 플라스틱에 열을 가하고 금형을 회전시켜 제품의 형상을 만드는데, 제품의 품질을 높이고 생산성을 높이기 위해서는 최적의 냉각 조건이 필요하다. 이에 따라 회전냉각기에서 온도분포를 수치적으로 해석하고 실제 가동 중인 회전냉각기의 외벽 온도와 비교하는 연구가 진행되었다[1]. 회전체에 대한 냉각 방법으로 스프레이 분사 냉각은 냉각설비를 최적화하여 금형의 수명을 늘려주고 제품 품질의 향상을 위하여 열전달 특성을 연구하였다[2,3].

본 논문에서는 회전성형에 의해 제품의 형상이 만들어지고, 제품의 품질 향상을 위하여 균일한 온도로 냉각이 이루어지고 생산성 향상을 위하여 빠른 시간에 냉각이 이루어지는 시스템에 대해서 연구하고자 한다. 기존의 연구는 열전달을 높이기 위해 물을 분무하여 냉각하였으나, 본 논문에서는 공기를 사용하여 빠른 시간에 균일한 냉각에 대해서 연구하고자 한다. 다양한 유동 조건과 회전성형기의 회전 조건에 대해 금형 표면의 온도를 상용프로그램인 Star-CCM+[4]를 활용하여 회전성형기가 회전하는 영역에서의 속도 및 온도 분포를 해석하였다.

2. 본론

2.1 성형기 형상 및 경계조건

회전성형기 형상은 Fig. 1에 보여주고 있다. 성형기끼리 서로 마주보고 위치해 있으며 축을 중심으로 회전하고 있는 형상이다. (a)는 중심의 성형기가 수평상태이며, (b)는 수직상태이다. (a)에서 좌측과 (b)에서 상단의 성형기는 반지름 550mm이며, (a)의 우측과 (b)의 하단의 성형기는 반지름 600mm이다. 중력은 Fig. 1에서 -z 방향으로 작용한다.

Table 1은 성형기의 냉각 해석에 사용된 경계조건분류이다. 5개의 Case로 진행되었으며, Case1과 Case2는 성형기가 회전을 하고 있지 않는다. Case1은 성형기가 수평인 상태로 냉각이 되고 있고, Case2는 성형기가 수직인 상태로 냉각이 되고 있다. Case3은 성형기가 10 rpm으로 회전을 하고 있다. 회전에 의해 성형기는 냉각이 진행된다. Case 1, 2, 3은 모두 외부의 fan은 없는 상태로 상온 공기 조건에서 냉각이 된다. Case 4와 Case5는 외부의 fan에서 13 m/s로 발생하는 유동에 의해 성형기가 회전하면서 냉각된다. 현장과 동일하게 Case4는

하단의 2개의 fan에 의해 냉각이 진행되며, Case5는 상단 2개, 하단 2개의 fan에 의해 냉각된다.

Table 2는 해석에 사용된 물성 값이다. 성형기의 고체는 초기에 120 ℃로 가열되어 있으며, 열전도율은 237 W/m · K, 밀도는 2702 kg/m³이다. 공기는 성형기 내부에 240 ℃로 가열되어 있는 성형기 내부 공기와 외부는 상온 20 ℃ 조건으로 설정되어 있다. 두 공기의 열전도율은 0.0260305 W/m · K이다.

위와 같이 분류된 성형기의 5개 냉각조건을 통해 성형기와 성형기 주위의 온도 변화를 해석하였다. 성형기의 해석조건은 현재 참조가 된 제품의 냉각조건과 동일하다.

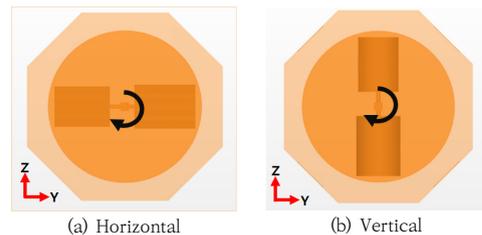


Fig. 1. Molding machine analysis model geometry (a) Horizontal (b) Vertical

Table 1. Classification by boundary condition

Boundary Condition			Rotating speed (rpm)	Fan speed (m/s)
Non Rotating	Case 1	Horizontal	0	0
	Case 2	Vertical		
Rotating	Case 3	No fan	10	13
	Case 4	2 Fans		
	Case 5	4 Fans		

Table 2. Simulation of properties

Properties		Value	
Solid	Initial Temperature (°C)	120	
	Thermal Conductivity (W/m · K)	237	
	Density (kg/m ³)	2702	
Air	Initial Temperature (°C)	Inside	240
		Outside	20
	Thermal Conductivity (W/m · K)	0.0260305	

2.2 성형기 온도 변화

Fig. 2는 Case1의 시간에 따른 수직단면에서 온도 분포 변화이다. (a)는 300 sec, (b)는 600 sec, (c)는 900 sec일 때, 온도 분포이다. 중심부의 성형기가 외부공기의 온도보다 높으며, 이로 인해 중력의 반대 방향인 위쪽으로 부력에 의해 유동이 발생한다. 이러한 유동에 의해 온도는 위로 이동하는 분포를 갖는다. 각 좌 우의 성형기의 모서리로부터 온도 분포가 상승하는 형태로 나타난다. 시간에 따라 온도의 분포는 냉각에 의해 전체적인 온도가 낮아졌다. Case1에서 성형기 표면의 온도분포는 Fig. 3과 같이 나타난다. 300 sec인 (a)에서 성형기 표면의 상단에서 하단보다 상대적으로 높은 온도분포를 갖고 있다. 또한, (a)에서 (b), (c)와 달리 표면에서 물결무늬가 나타나 상대적으로 고르지 못한 온도분포를 보이고 있다.

Case2의 수직단면 온도분포는 Fig. 4에서 볼 수 있으며, 성형기 표면의 온도분포는 Fig. 5에서 볼 수 있다. 각 그림의 (a), (b), (c)는 이전 그림과 같이 각 300 sec, 600 sec, 900 sec일 때 온도분포이다. Case2는 Case1과 달리 s성형기가 수직상태로 냉각이 되는 조건이다.

따라서 Fig. 4에서 성형기가 세워진 1자 형태로 온도 분포로 나타난다. Fig. 4와 Fig. 5에서 온도에 의해 주위 공기의 밀도가 낮아지며, 부력에 의해 중력 반대 방향이 위쪽으로 온도가 상승하는 분포를 보여준다. 따라서 성형기 하단보다 상단이 온도가 더 낮은 것을 Fig. 4와 5에서 볼 수 있다.

조금 더 빠르고 고른 냉각을 하기 위해 Case3에서 5까지는 성형기가 회전을 하는 조건으로 진행하였다. Fig. 6은 외부 fan 유동이 없이 10 rpm으로 성형기가 회전을 하여 냉각하는 상태이다. Case3에서 각 300 sec, 600 sec, 900 sec일 때, 단면 온도분포에서는 비슷한 형태로 감소하는 것을 볼 수 있다.

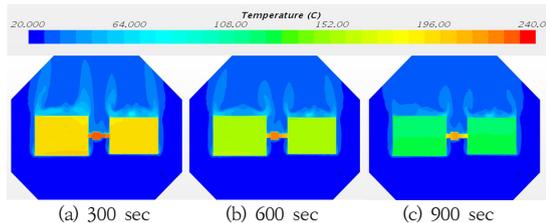


Fig. 2. Plane Temperature Contour of Case 1
(a) 300 sec (b) 600 sec (c) 900 sec

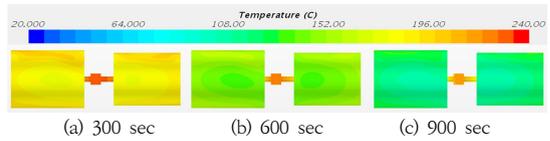


Fig. 3. Surface Temperature Contour of Case 1
(a) 300 sec (b) 600 sec (c) 900 sec

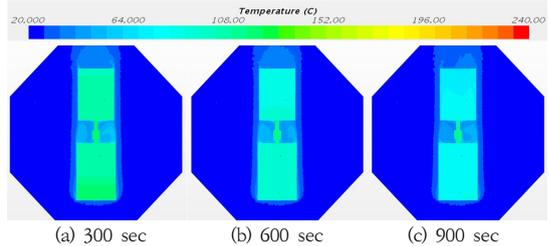


Fig. 4. Plane Temperature Contour of Case 2
(a) 300 sec (b) 600 sec (c) 900 sec

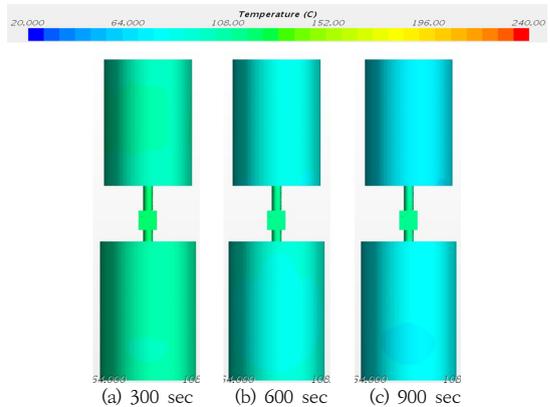


Fig. 5. Surface Temperature Contour of Case 2
(a) 300 sec (b) 600 sec (c) 900 sec

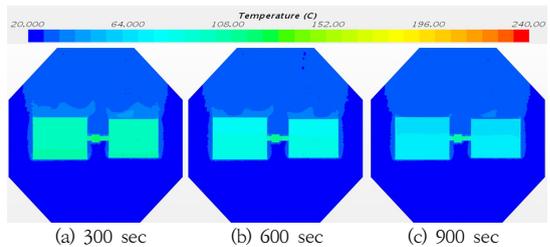


Fig. 6. Plane Temperature Contour of Case 3
(a) 300 sec (b) 600 sec (c) 900 sec

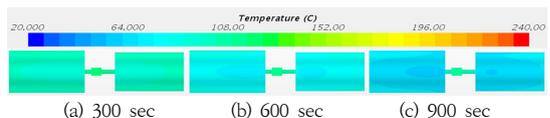


Fig. 7. Surface Temperature Contour of Case 3
(a) 300 sec (b) 600 sec (c) 900 sec

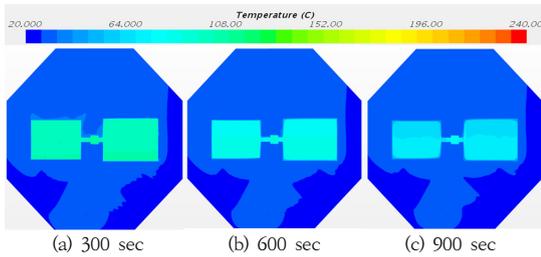


Fig. 8. Plane Temperature Contour of Case 4
(a) 300 sec (b) 600 sec (c) 900 sec

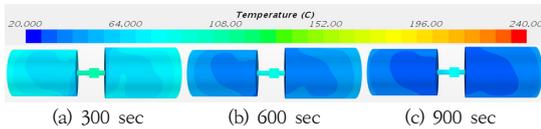


Fig. 9. Surface Temperature Contour of Case 4
(a) 300 sec (b) 600 sec (c) 900 sec

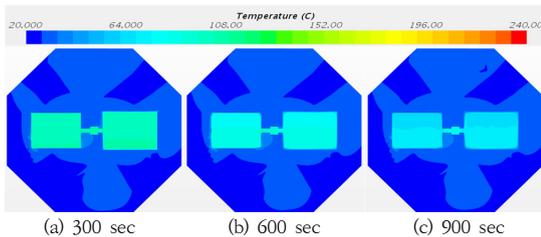


Fig. 10. Plane Temperature Contour of Case 5
(a) 300 sec (b) 600 sec (c) 900 sec

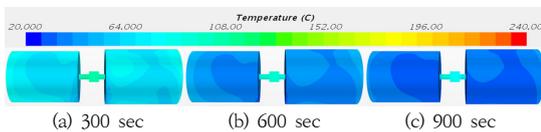
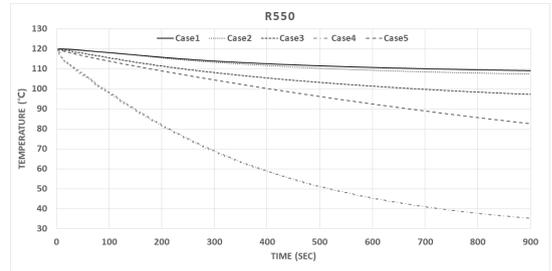


Fig. 11. Surface Temperature Contour of Case 5
(a) 300 sec (b) 600 sec (c) 900 sec

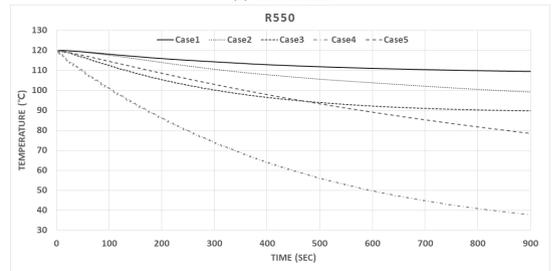
Fig. 7 표면의 온도분포에서는 표면의 온도가 중심부에서 외각으로 점차 온도가 감소하는 분포를 나타낸다. 하단의 2개의 fan이 있는 Case4는 Fig. 8과 Fig. 9에서 볼 수 있다. 수직단면인 Fig. 8에서 하단의 fan으로부터 발생하는 유동에 의해 양쪽 하단 45°에서 온도가 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 Fig. 9에서 표면의 온도분포에 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 기존의 fan이 없는 Fig. 7과 비교하였을 때, 시간에 지남에 따라 동일 온도의 영역이 더욱 넓어진 것을 볼 수 있다.

마지막으로 상하의 4개 fan이 작동하는 Case5의 결과는 Fig. 10과 Fig. 11에서 볼 수 있다. 상부의 2개의 fan과 하부의 2개의 fan에 의해 Fig. 10에서 온도의 분

포가 중심을 기준으로 X 형태로 온도가 낮은 것을 볼 수 있다. Fig. 9와 Fig. 11을 비교하였을 때, Case4보다 Case5의 경우 성형기 표면에 온도구배가 더 적은 것을 볼 수 있다.



(a) R550mm



(b) R600mm

Fig. 12. The average surface temperature of molding machine over time (a) R550mm (b) R600mm

Fig. 12는 시간에 따른 반지름 550mm과 600 mm의 평균 표면 온도변화이다. 550mm과 600mm은 Case3과 Case5의 경우 각각 최종 결과에서 서로 다른 양상을 보이고 있다. 그러나 하부 2개의 fan을 사용한 Case4는 2개의 결과에서 가장 빠르게 냉각이 되는 것을 볼 수 있다.

3. 결론

고온으로 가동되는 성형기는 양질의 제품을 빠르게 얻기 위해 빠른 냉각 속도와 고른 온도분포를 가져야한다. 빠른 냉각 속도로 인해 제품을 동일 시간에 상대적으로 많이 제작할 수 있으며, 고른 온도분포를 얻음으로써 제품의 불량률을 감소시킬 수 있다.

각 냉각 조건은 크게 성형기가 회전을 하지 않는 조건과 회전을 하는 조건이 있으며, 회전을 하지 않는 조건에서 성형기가 수평으로 있는 경우와 수직으로 있는 경우로 구분하였다. 성형기가 회전하는 조건에서는 fan의 가

동조건으로 3개의 냉각 조건을 설정하였다.

우선 회전을 하지 않은 냉각 조건인 Case1과 2에서는 비교적 고른 온도분포를 보였지만 냉각속도가 현저히 낮았다. 회전조건인 Case3에서 5가지의 결과에서는 Case4의 경우 가장 빠른 냉각속도와 비교적 고른 표면 온도 분포를 보이고 있어 5가지의 냉각조건 중 최적의 조건을 보이고 있다. fan을 더욱 많이 사용한 Case5의 경우 상단의 2개의 fan으로 인해 부력에 의해 발생한 유동에 오히려 방해할 하는 것으로 파악된다.

이번 다양한 냉각조건 해석 결과를 통해 하부에만 냉각 fan이 있는 조건이 조금 더 유효하다는 것으로 나타났지만, 추가적으로 fan의 조건을 수정하여 냉각조건을 개선할 수 있을 것으로 보인다.

References

- [1] M. S. Lee, J. S. Choi and C. K. Chun, "Analysis of Temperature Distribution of Solid and Gas in the Rotary Cooler", J. of Korean Inst. Resources Recycling, Vol.11, No.3, pp.25-30, 2002.
- [2] S. T. Jeon, Y. Y. Kim, J. S. Lee, J. S. Park and D. B. Lee, "Cooling of a Rotating Heated Flat Plate by Water Jet Impingement", Solar Energy, Vol.15, No.2, pp.47-64, 1995.
- [3] P. J. Lee, H. Choi and S. H. Lee, "Cooling Heat Transfer from a Rotating Roll by Impingung Water Spray Jets", KSME, Vol.26, No.6, pp.779-787, 2002. DOI: <https://doi.org/10.3795/ksme-b.2002.26.6.779>
- [4] STAR-CCM+ Documentation, Version 13., Siemens PLM Software, 2018.

강 정 석(Jeong-Seok Kang) [준(학생)회원]



• 2018년 2월 : 전북대학교 기계시스템공학과 (공학석사)

<관심분야>

환기용 팬 열 유동, 성형기 열 유동

김 인(In Kim)

[정회원]



• 2000년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
• 2016년 4월 : Siemens Industry Software 입사

<관심분야>

Model Based System Engineering, Multi-physics simulation

이 명 재(Myungjae Lee)

[준(학생)회원]



• 1997년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

자동차 냉각시스템 및 열교환기

윤 재 영(Jai-Young Yoon)

[정회원]



• 1992년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학과 (교수)

<관심분야> 금형설계, 재료거동