한국산학기술학회논문지
Vol. 8, No. 6, pp. 1313-1318, 2007

냉온회로 및 제어가 JAR곡율반경에 미치는 영향

신남호[1*], 최석종[2]

Influence affected on the curvature radius of jar by circuit of cooling temperature and temperature control

Nam-Ho Shin[1*] and Seok-Jong Choi[2]

요 약 다양한 곡률반경의 연속에 의하여 살 두께 차가 큰 jar50ml의 성형가공시간 단축과 품질향상을 위하여 금형을 급속 냉각시키면 void, 후로우 및 변형 등의 불량이 발생하게 된다. 제품내측과 외측의 온도조절을 충분히 할 수 있는 캐비티부와 코아부에 나선형 냉각회로 구조와 가열과 냉각을 자동 제어할 수 있는 시스템을 Jar금형에 적용함으로 우수한 품질과 생산성향상의 효과를 얻을 수 있다.

Abstract When the mold is cooled suddenly to reduce the time for forming work and improve the quality of jar50ml which is different highly at rib thickness by a series of various curvature radii, the poor quality of void, flow and deformation happens. The structure of spiral cooling circuit at cavity and core can control the temperature of inner and outer side sufficiently. And the system can control cooling and heating automatically. These things are applied to Jar mold. and so, the best quality and the effect of productivity improvement can be obtained.

Key Words : High Cycle, Cooling Circuit, Automatic Control of Die Temperature, Cavity core, Under core

1. 서 론

국제 브랜드 이미지를 얻기 위한 화장품용기 개발 경쟁에서도 디자인, 품질 및 생산성에서 고난도의 기술이 요구된다. 반구형 형상으로 2중 곡율반경에 의하여 두께 변화가 요구되는 플라스틱 화장품 Jar용기는 제품 성형가공시 수지의 수축특성상 제품 살 두께에 의한 수축률 변화가 있어 상호 상반되는 품질과 생산성을 동시에 향상 시킬 수 있는 기술이 필요하다. 아크릴수지의 투명성을 활용하여 한 모델의 제품내면에 다양한 칼라 코팅으로 다양한 제품을 생산하는 효과로 수요자의 요구를 충족시킬 수 있다. 플라스틱 화장품 용기의 살 두께변화에 의한 수축률 변화를 극복하기 위해서는 수지특성, 제품형상에 의한 유동특성, 냉각회로 및 재질, 금형설계기술, 성형기술 등 다양한 공정을 검토 연구되어야 해결할 수 있는 종합적인 고난도의 기술이 필요하다. [1, 2, 3, 4,]

본 연구에서는 디자인을 다양하게 하기에 생산성에서 문제를 안고 있는 화장품 jar용기에 High Cycle 냉온회로를 응용하고 금형온도을 제어할 수 있는 시스템으로 제품 두께의 유연성에 의한 품질 고급화와 생산성향상으로 국제경쟁력을 얻고자 한다.

[1]공주대학교 기계자동차공학부
[2](주)다인산업 대표
*교신저자: 신남호(nhshin@kongju.ac.kr)

2. Jar용기의 유동해석

2.1 화장품 Jar용기의 형상

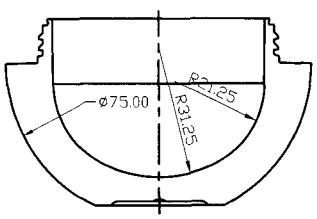

그림 2.1 Jar용기 모델

다양한 곡율반경에 의한 다층 두께인 화장품 Jar용기의 두께 편차에 따른 수축으로 제품 내면에 곡율의 단차가 발생하여 코팅 후 불균일한 반사율이 나타나며, 제품 두께가 매우 두꺼워 냉각시간의 연장으로 생산성이 떨어지는 것이 예견된다.

그림 2.1은 실험제품의 모델이며 살 두께는 2.35 mm 부터 11.45mm까지 두께차가 다양하며, 제품내면은 직선과 반지름이 다른 곡선이 연속되어 있다.

2.2 적용 냉각회로

그림 2.2는 캐비티와 하코아의 외부에 원형 냉각회로를 설치한 것이고, 그림 2.3은 캐비티 코아의 외부에 원형 냉각회로와 하코아에 버플식 냉각회로를 설치하였다. 그림 2.4는 캐비티 코아의 외부에 원형 냉각회로와 하코아(Be-Cu)에 버플식 냉각회로를 설치하였으며. 그림 2.5는 캐비티의 외측과 하코아 내측에 나선형 냉각회로로 구성하였다. [6]

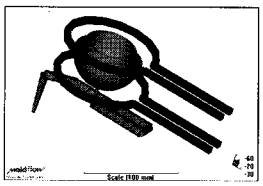

그림 2.2 냉각모델 1

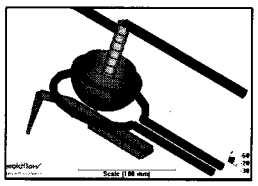

그림 2.3 냉각모델 2

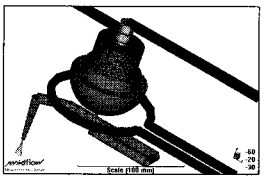

그림 2.4 냉각모델 3

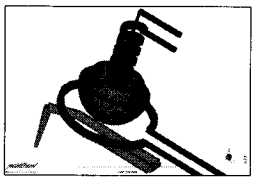

그림 2.5 냉각모델 4

2.4 해석조건 및 유동형태

사용수지는 LG화학 IF850(PMMA)이며, 금형온도 45℃, 수지온도 240℃, Cycle time 120초, 사출시간 2.5초, 보압은 45Mpa의 성형조건에서 유동해석한 결과 어느 냉각회로를 사용하던지 캐비내 수지의 충전은 원활하게 이루어지며, 충전 중 문제점은 발견되지 않았으나 게이트 근처와 두께의 편차가 심한 제품의 목 부근에서 사출 속도의 변화에 의하여 표면에flow mark가 발생할 가능성이 있다.

사출압력은 게이트 통과시 최대 29MPa 까지 증가하며, 캐비티 충전시에는 약 24Mpa가 작용한다. 그러나 보압과정에서 수축을 최소화하기 위해서는 보다 높은 압력이 요구된다. 이 해석에서는 45Mpa을 보압으로 설정하였다. 형체력은 최대 103ton이 발생하며, 게이트와 목 부분에서 충진 속도가 12㎝/s로 아주 빠르게 증가하는 것을 알 수 있다.

2.5 변형의 형태

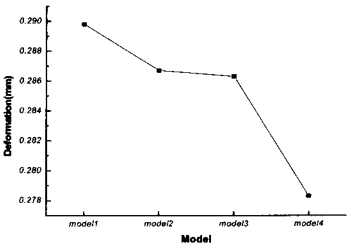

그림 2.6 냉각모델별 변형 량

이 제품은 살 두께의 변화가 급격하여 수축율의 편차가 크게 발생되며 이는 변형 발생의 원인이 되며, 냉각방식을 변경하면 수축율의 편차가 다소 완화되고 변형이 감소하며 내측면 곡률의 변화도 최소화 할 수 있다. 내측 바닥면을 기준으로 변형된 크기를 비교하면 두께가 두꺼운 부분에서 그림 2.2은 최대 0.2898mm, Fig 2.3은 최대 0.2867mm, 그림 2.4은 최대 0.2863mm, Fig 2.5는 최대 0.2793mm의 변형이 발생한다.

그림 2.6은 냉각모델에 따른 변형을 비교한 것으로 냉각모델 1에 비하여 냉각모델 4가 변형이 감소하는 것으로 나타난다.

3. 성형가공 실험

각 냉각모델에서 제품의 살 두께 편차로 인하여 변형의 형태는 동일하다. 그러나 냉각방식에 따라 변형의 크기는 변화하고 있음을 알 수 있으며 냉각 코아를 나선형으로 사용하는 것이 가장 변형이 작았고 등고선의 간격도 다른 경우보다 더 균일해 지는 것으로 보아 곡률 유지에도 유리할 것이다

3.1 Jar금형의 냉각회로

사출금형이 기계적 요소가 되려면 열 교환이 잘 이루어져 성형품의 품질과 생산성을 보증할 수 있어야 한다. 금형 냉각회로 설계의 근본적인 것은 열역학과 수축 능력을 고려한 설계가 되어야 하고 수지 열의 이동에 따른 균일한 온도 분포를 유지할 수 있는 냉각회로가 되어야 올바른 금형이라 할 수 있다. 금형의 품질이 생산품 전 공정의 80% 이상을 결정하므로 금형설계와 제작은 대단히 중요하다

(1) 그림 3.1과 같이 온·냉 회로에 의하여 금형 형개 시작부터 수지 사출완료 직전까지 금형제어 시스템에 의하여 분주기를 통하여 캐비티 외부와 하코아 내부에 온수(77~95℃) 공급과 동시에 22~26초 동안 전열판을 작동 캐비티와 하코아의 온도를 56~72℃온도까지 상승시키므로 캐비티에 유입되

는 175~220℃의 수지온도를 유지 유동성이 향상되도록 한다.

(2) 수지 사출완료 직후 전열판의 전원을 단전하고, 보압 직후에 캐비티 외부 및 하코아 내부 온수를 흡입 진공화 (5초)⇒냉수유입(5~10초)⇒냉수를 흡입 진공화(5초) ⇒ 온수유입(20~25초)의 공정으로 분주기에 의하여 냉각과 상온을 성형공정과 연계 시행하였다.

(3) Jar금형 온도제어시스템은 금형에 내장되어는 온도센서에 의한 신호와 사출성형기의 작동에 의한 신호를 제어함으로 (1)과 (2)항을 연속적으로 수행할 수 있다.

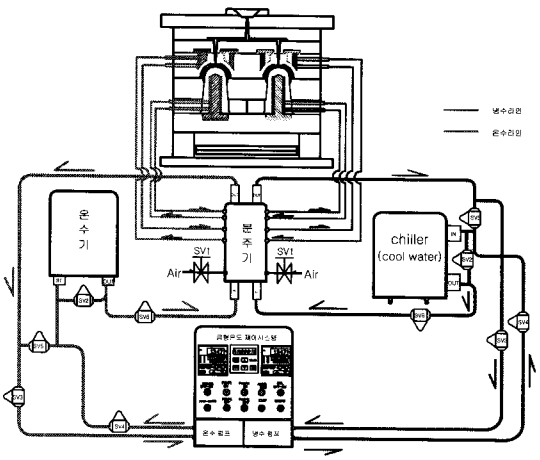

그림 3.1 Jar금형 온도제어회로

3.2 캐비티코아와 하코아 냉각회로

Cavity core를 상온과 냉각을 효과적으로 하기 위하여 이중 캐비티 코아로 원형냉각회로를 가공하여 조립한 Cavity core로 구성하였으며, 캐비티 코아의 빠른 상온효과를 얻기 위하여 하부에 원형 전열판을 부착시킬 수 있도록 하였다.

Under core를 상온과 냉각을 효과적으로 하기 위하여 이중 하 코아로 내부의 원형코아에 나선형냉각회로를 조립한 Under core의 구조로, 하 코아의 빠른 상온효과를 얻기 위하여 하부 받침판에 원형 전열판을 부착시키도록 설계하였다.

3.3 사출성형기 및 수지물성

Jar 50ml 용기금형을 장착하여 성형가공하기 위하여 사용된 사출성형기는 우진SELEX-S250모델로 성형기 사양은 표 3.1과 같으며, 사용수지의 물성은 표 3.2와 같다.

표 3.1 사출성형 제원

항 목	규 격	항 목	규 격
스크류직경	50mm	최소금형두께	250mm
이론사출용적	550㎤	최대금형두께	620mm
사출량(PS)	506g	타이버간격	580×530mm
사출압력	2394kg/㎠	에젝타력	5.4Ton
사출율	205㎤/sec	에젝타 행정	150mm
가소화능력	142kg/Hr	스크류회전속도	168 r·p·m
형체력	250Ton	Pump용전동기	45kW
최대형계거리	520mm	Heater용량	11kW

표 3.2 수지별 물성 값

성 질	단위	물성 값	
		SAN82TR	PMMAIF850-GI
유동성	g/10min	18	11.08
비중	g/㎤	1.07	1.18
성형수축율	%		0.2~0.6
항복점 인장강도	kg/㎠	670	663
인장탄성율	kg/㎠		31,400
신율	%	6	5.1
굴곡강도	kg/㎠	1,100	1,315
굴곡탄성율	kg/㎠	36,700	33,783
IZOD충격강도	kg·cm/cm	1	1.5
Rockwell경도	R,M-scale	124	90
열 변형온도	℃	89	79.5
Vicat 연화점	℃/h	101	100

3.4 Jar mould 러너 및 냉각회로

러너는 Jar50의 나사 성형부의 언더컷처리로 4개의 캐비티를 일자 배열하였으며 직경은 1차, 2차 8×6.1의 사다리꼴 단면이며, 1점 Pin point type으로 게이트 직경 상부 ø3.0, 하부 ø0.6, 랜드는 2.5로 설계하였다.

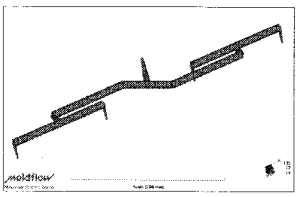

그림 3.2 러너 레이아웃

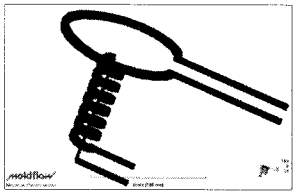

그림 3.3 냉각회로

3.5 성형실험

Jar50ml 용기의 성형공정 및 불량관계를 실험하기 위하여 수지온도, 금형온도, 온수 및 냉수의 적정온도와 시간 등이 제품에 미치는 영향을 연구하기 위하여 표 3.3과 같은 공통 사출성형조건과 표 3.4~8과 같은 성형조건에 의하여 실험을 하였다.

표 3.3 공통실험 사출성형조건

실린더 온도	노즐	전부	중부	중부	후부
	220	190	175	170	160

사출조건	사출시간	16~20			냉각시간		35~65
	구분	1차 사출	2차 사출	3차 사출	4차 사출	1차 보압	
	속도	9	45	25	20	45	
	압력	28	75	60	47	50	
	위치	132	10	7	5	3초	
계량조건	구분	1차 석백	1차 계량	2차 계량	3차 계량	2차 석백	계량 완료
	속도	20	60	75	80	40	
	압력	40	75	75	85	50	
	위치	5	10	175	180	187	187

표 3.4 실험 1의 사출성형조건

공정 / 구분	금형 형폐	사출	보압	냉각및 개량	금형 형개	에젝터 작동	제품 취출	싸이클 시간
				온수				
공정시간	3	20	3	65	5	3	5	104
수지온도	220~175	측정 무			130~110 (제품온도)			
온수온도	80~83							
금형온도	65~78	63~75	63~75	65~80	64~78	65~78	65~78	

표 3.5 실험 2의 사출성형조건

공정 / 구분	금형 형폐	사출	보압	냉각 및 개량				금형 형개	에젝터 작동	제품 취출	싸이클 시간
				온수 진공	냉수 유입	냉수 진공	온수 유입				
공정시간	3	19	3	5	5	5	20	4	3	5	72
수지온도	220~175	측정 무						125~105 (제품온도)			
온수온도	80~90	85~90	85~90				80~90	80~90	80~90	80~90	
냉수온도					7						
금형온도	64~70	65~70	67~72	66~71	64~69	62~67	62~69	63~69	64~69	64~70	

표 3.6 실험 3의 사출성형조건

공정 / 구분	금형 형폐	사출	보압	냉각 및 개량				금형 형개	에젝터 작동	제품 취출	싸이클 시간
				온수 진공	냉수 유입	냉수 진공	온수 유입				
공정시간	3	16	3	5	5	5	20	5	3	5	70
수지온도	220~175	측정 무						132~115 (제품온도)			
온수온도	77~81	77~81	77~81				72~81	73~81	74~81	75~81	
냉수온도					15						
금형온도	54~66	55~66	56~68	56~68	54~66	53~65	53~66	53~66	53~66	54~66	

표 3.7 실험 4의 사출성형조건

공정 / 구분	금형 형폐	사출	보압	냉각 및 개량				금형 형개	에젝터 작동	제품 취출	싸이클 시간
				온수 진공	냉수 유입	냉수 진공	온수 유입				
공정시간	3	16	3	5	10	5	20	5	3	5	75
수지온도	220~175	측정 무						130~110 (제품온도)			
온수온도	77~80	77~80	77~80				75~80	75~80	76~80	76~80	
냉수온도					30						
금형온도	55~67	56~67	57~67	57~67	55~66	53~65	52~64	52~64	53~65	54~67	

표 3.8 실험 5의 사출성형조건

공정 / 구분	금형 형폐	사출	보압	냉각 및 개량				금형 형개	에젝터 작동	제품 취출	싸이클 시간
				온수 진공	냉수 유입	냉수 진공	온수 유입				
공정시간	3	16	3	5	5	5	20	5	3	7	72
수지온도	220~175	측정 무						127~108 (제품온도)			
온수온도	81~95	81~85	81~85				81~85				
냉수온도					10						
금형온도	55~64	57~66	60~70	60~69	59~68	57~67	56~66	56~65	56~65	55~66	

3.6 Jar50ml 성형가공 결과

표 3.3~8과 같은 성형조건에서 Jar50ml 용기를 시험사출 하였으며, (주)덕인 모델 EOS544C인 3차원 측정기로 측정결과 다음과 같다.

(1) 실험 1은 후로우 마크의 현상과 연속 성형 가공시 금형온도상승으로 투명한 제품인 경우 변색이 발생하였으며, 측정편차는 외측커브형상: 0.2697, 내측 R21.25: 1.1567, R31.25: -2.9594이다.

(2) 실험 2는 제품외관상 양호하며 각각의 측정편차는 외측커브형상: 0.1659, R21.25: 0.8739, R31.25: -2.555이다.

(3) 실험 3은 제품외관에 웰드 형상이 나타나며 각각의 측정편차는 외측커브형상: 0.2733, R21.25: -0.6216, R31.25: -4.426이다.

(4) 실험 4는 제품외관에 웰드 형상이 나타나며. 각각의 측정편차는 외측커브형상: 0.1853, R21.25: -0.1303, R31.25: -4.006이다.

(5) 실험 5는 제품 외관에 부분 수축현상이 나타나며. 각각의 측정편차는 외측커브형상: 0.1684, R21.25: -0.2571, R31.25: -4.571이다.

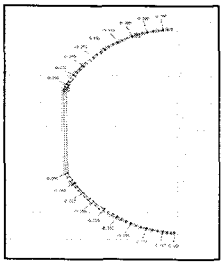

그림 3.4 Jar50ml 외측 형상

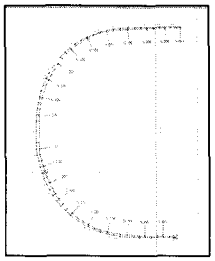

그림 3.5 Jar50ml 내측 형상

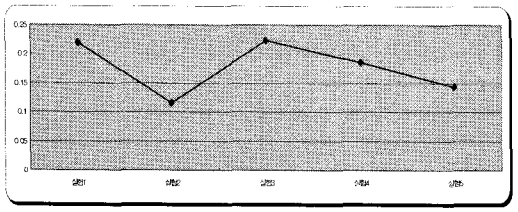

그림 3.6 Jar50ml의 외측 곡율반경 편차

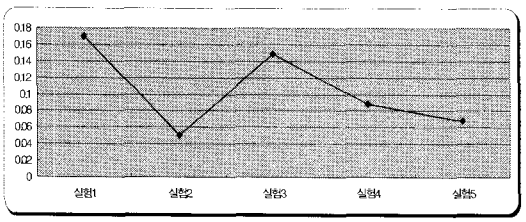

그림 3.7 Jar50ml 내측 R21.25의 편차

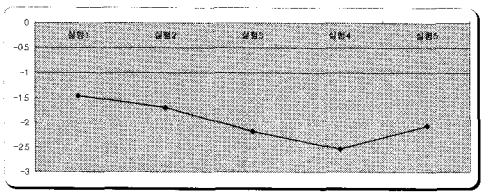

그림 3.8 Jar50ml 내측 R31.25의 편차

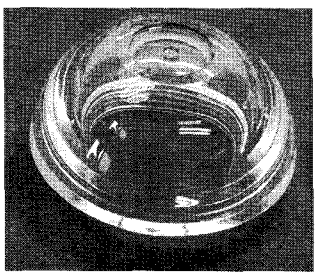

그림 3.9 Jar50ml 성형품

실험결과 표 3.5(실험2)의 성형조건이 제품외관 육안검사와 외측, 내측의 측정값에서 가장 우수한 결과를 얻었고, 싸이클타임 72초로 약 31% 감소되었다.

4. 결론

본 연구는 살 두께차가 큰 Jar50ml의 싸이클시간을 단축시키기 위하여 금형을 급냉 시키면 void, 후로우 및 곡률변형 등의 불량이 발생하게 된다. 불량과 싸이클시간을 단축시키기 위하여 금형의 온·냉 자동제어시스템을 적용하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 금형형상부위 표면온도가 TG점을 기준으로 5~10℃ 높은 온도에서 성형이 되고 있으며, 수지온도와 금형표면온도가 높으면 제품표면에 물결무늬의 후로우마크가 발생하고, 수지온도와 금형표면온도가 낮으면 웰드가 발생한다.
2. 온·냉 시스템 적용으로 공전시간 단축과 품질은 향상되나 실린더 노즐부위의 열로 게이트부위에 변형의 우려가 있다. 금형온도 제어시스템에 의하여 적정선의 금형온도로 최적의 냉각시간을 설정할 수 있다.
3. 예열 금형온도에 의한 수지온도상승으로 제품 내부에 변색 우려가 있으나 온·냉 시스템으로 불량을 제거할 수 있다
4. 실험 2의 성형조건이 제품의 외관불량, 치수의 정밀도와 싸이클 시간 등이 가장 적정하며, Jar50ml 내측 R31.25 부위의 큰 편차는 이형 시 로보트 흡착부에 의한 냉각지연으로 발생되는 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] Kamal, M. R. and Keing, S., "The Injection Molding of Thermoplastic, Part Ⅰ: Theoetical Models", Polymer Engineering and Science, Vol.12, No.4, pp.294-301, 1972.

[2] Kamal, M. R. and Keing, S., "The Injection Molding of Thermoplastic, Part Ⅱ: Experimental Test of the Model", polymer Engineering and Science, Vol.12, No.4, pp.302-308, 1972

[3] Sherbelis, G, and Friedl, C., "the Importance of Low Temperature Viscosity to CAE Injection Molding Simulation", SPE ANTEC, pp.954-957, 1992.

[4] Richardson, S. M., "Injection Moulding of

Thermoplastics : Freezing During Mould Filling", Rheologica Acta, Vol.22, No.2, pp.223-236, 1993.

[5] 신남호, "불균일 측벽두께 Jar의 곡률반경에 따른 CAE해석" 한국산업기술학회논문지, 제7권, 제6호, pp. 1042-1043, 2006. 12

신 남 호(Nam-Ho Shin) **[정회원]**

- 1980년 2월 : 단국대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1977년 4월 : 천안 공업 대학 금형과 교수
- 2005년 3월 : 공주대학교 기계자동차공학부(금형설계전공) 교수

<관심분야>
금형설계, 제품개발, 플라스틱 CAE

최 석 종(Seok-Jong Choi) **[정회원]**

- 나주대학교 (학사)
- 1992년 4월 : 청송통상 이사
- 1998년 10월 : (주)다인산업 대표

<관심분야>
금형설계, 제품개발, 생산자동화, 나노상품개발