

진공확산접합을 이용한 형상적응형 냉각채널을 가진 화장품 용기용 사출금형의 제작 및 시험사출

유만준*, 박종천**.#

*금오공과대학교 대학원 기계공학과, **금오공과대학교 기계공학과

Fabrication and Testing of Injection Mold for Cosmetic Container with Conformal Cooling Channels Using Vacuum Diffusion Bonding

Man-Jun Yu*, Jong-Cheon Park**.#

*Department of Mechanical Engineering, Graduate School, KIT, **Department of Mechanical Engineering, KIT

(Received 7 January 2020; received in revised form 17 February 2020; accepted 20 February 2020)

ABSTRACT

In this study, an injection mold with conformal cooling channels was designed and manufactured for use in the production of a thick plastic cosmetic container that required high gloss surfaces. A cooling analysis verified the design of the conformal cooling channel for the cosmetic container, and also showed that the cooling efficiency was superior to that of the straight cooling channel. Slide cores designed with the conformal cooling channel were manufactured using the Layers Parting method and vacuum diffusion bonding. Subsequent test injection and quality inspection showed no problem in the appearance and dimensional accuracy of the produced product. The cycle time for product production was about 110 seconds, sufficient for mass production.

Key Words : Conformal Cooling Channel(형상적응형 냉각채널), Vacuum Diffusion Bonding(진공확산접합), Cosmetic Container(화장품 용기), Injection Mold(사출금형), Cooling Analysis(냉각해석)

1. 서론

사출성형(injection molding)에서 냉각 과정은 제품의 성형과 품질에 중대한 영향을 미치며 전체 성형 과정에서 가장 긴 시간을 차지한다. 사출금형에서 일반적으로 가장 많이 적용하는 직선형 냉각채

널의 경우, 냉각채널을 제품에 근접해 설치하더라도 곡률이 큰 곡면형 제품일 때에는 냉각이 불균일하게 되어 품질과 생산성 향상에 한계가 있다. 이러한 직선형 냉각채널의 문제 해결을 위해 3D 프린팅, 진공확산접합 등과 같은 기술을 이용해 제품의 형상에 대응하는 형상적응형 냉각채널을 금형에 적용함으로써 냉각의 성능 향상을 통해 품질과 생산성 향상을 극대화 할 수 있다. 형상적응형 냉각채널과 관련한 선행 연구를 소개하면 다음과 같다.

Corresponding Author : cadpark@kumoh.ac.kr
Tel: +82-54-478-7297, Fax: +82-54-478-7319

Ahn 등^[1]은 팬 제작용 사출금형을 대상으로 DMT(direct metal tooling) 기술을 활용하여 형상적응형 냉각채널 금형을 제작하고, 실험을 통해 형상적응형 냉각채널이 직선형에 비해 높은 생산성으로 균일한 품질을 얻을 수 있음을 보였다. Park 등^[2]은 DMLS(direct metal laser sintering) 공법을 이용하여 형상적응형 냉각채널이 적용된 후유 렌즈 금형을 제작하였다. 또한 열화상 카메라 및 열전대를 이용하여 냉각채널 구조에 따른 금형온도 분포 및 냉각 성능 평가에 관한 연구를 수행하였다. Kim 등^[3]은 DMT 기술을 이용하여 형상적응형 냉각채널을 갖는 금형 코어를 제작하고, 기존 냉각방식과 비교하여 형상적응형 냉각채널 금형이 우수한 냉각 성능을 발휘한다는 결과를 제시하였다. Ahn 등^[4]은 사출성형 해석을 이용하여 형상적응형 냉각채널을 적용한 케이스 제품에 대해 수축률을 최소화하는 최적 공정조건을 도출하는 연구를 수행하였다. Park 등^[5]은 SLM(selective laser melting) 공법을 이용하여 국소적 형상적응형 냉각채널을 갖는 금형의 코어를 제작하고, 냉각효율을 개선하는 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 화장품 용기 조립체 중에서 외용기(outer bottle)를 대상으로 사출성형 시뮬레이션 해석을 이용하여 형상적응형 냉각채널 금형에 대한 냉각해석을 수행하고, 해석에 사용된 설계 치수를 기초로 해서 LPM(layers parting method)^[6]와 진공확산접합을 이용하여 형상적응형 냉각채널을 갖는 사출금형을 제작하였다. 시험사출을 통해 외용기의 외관과 치수가 품질 규격을 만족시킴을 확인하였다. 또한 제품 생산에 필요한 사이클 타임이 110sec로 측정되어 생산 경험상 양산성이 충분히 있음을 알 수 있었다.

2. 화장품 외용기 모델과 냉각해석

2.1 외용기

Fig. 1은 화장품 외용기 제품의 3차원 형상이다. 외용기의 바깥쪽은 원형의 곡면 형상과 두께 개폐용 나사산이 형성되어 있고, 안쪽은 내용기(inner bottle)의 조립을 위해 원통 형상이다.

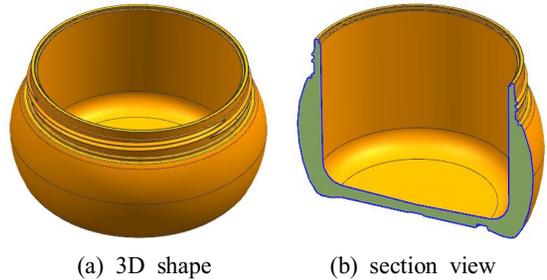


Fig. 1 Outer bottle

제품의 치수는 외경×높이가 100.5×61.6(mm)이고, 살두께는 최소 1.8mm, 최대 10.2mm이다. 제품 측면의 중앙에서 두께가 최대이며, 제품 중량은 136.1g이다. 제품의 표면 사양은 내측과 외측이 모두 고광택이며 높은 투명성과 강성이 요구되어 사용하는 SAN(styrene acrylonitrile) 82TR을 사용하였다.

2.2 냉각해석

형상적응형 냉각채널(conformal cooling channel; CCC)을 적용하는 경우에 예측되는 금형코어의 온도분포로부터 CCC의 효율성을 확인하고 금형제작을 위한 설계 데이터를 확보하기 위해, 외용기에 형상적응형 냉각채널과 직선형 냉각채널(straight cooling channel; SCC)을 각각 설계 적용한 금형에 대해 냉각해석을 수행하고 냉각시간별로 코어의 온도분포를 비교해 보았다. Fig. 2는 외용기에 대해 설계한 SCC와 CCC의 레이아웃이다. 냉각해석은 Moldflow^[7]를 사용하여 수행하였다. 해석에 사용된 공정조건으로 사출시간 10sec, 수지온도 200℃, 보압 20MPa, 보압시간 15sec, 냉각수온도 25℃, 냉각시간을 150sec로 설정하였다. SCC의 설계치수는 냉각채널 직경이 8.0mm이고 제품중앙의 후유부와 냉각채널의 간격은 최소 10.0mm이다. CCC의 설계치수는 냉각채널 직경이 SCC와 동일한 8.0mm이고 후유부와 냉각채널의 간격은 5.0mm로 등간격이다. 또한 내부 원통면과 냉각채널의 간격은 10.0mm이다. Fig. 3은 CCC의 관련 설계 치수이다.

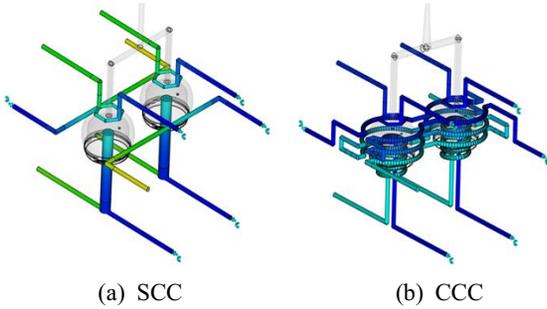


Fig. 2 Cooling channel layouts

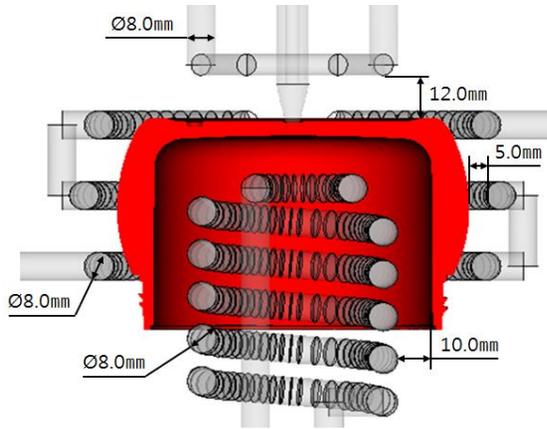


Fig. 3 Design dimensions of CCC

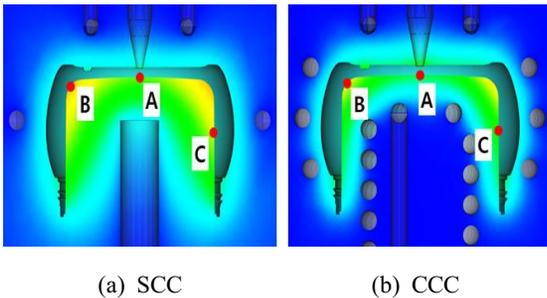


Fig. 4 Locations for temperature measurement on mold core

수지를 캐비티 내에 충전시킨 후 냉각채널의 유형에 따른 냉각 성능을 비교하기 위해, 금형코어에서 제품 형상과 금형 구조상 온도 강하가 느린 지점들을 측정점으로 선택하고 냉각시간에 따른 온도분포를 측정하였다.

Table 1 Temperatures measured at three points on the mold core with progress of cooling time

Time (sec)	SCC					CCC				
	A (°C)	B (°C)	C (°C)	\bar{m} (°C)	Δ	A (°C)	B (°C)	C (°C)	\bar{m} (°C)	Δ
2	47.4	39.6	44.0	43.7	7.8	38.6	31.8	35.9	35.4	6.8
10	46.8	39.3	43.6	43.2	7.5	38.0	31.6	35.4	35.0	6.4
20	46.2	38.9	42.9	42.7	7.3	37.2	31.1	34.8	34.4	6.1
40	44.8	38.3	41.8	41.6	6.5	35.8	30.5	33.7	33.3	5.3
55	43.8	37.8	40.9	40.8	6.0	34.8	29.8	32.7	32.4	5.0
75	42.3	37.0	39.9	39.7	5.3	33.3	29.2	31.6	31.4	4.1
100	40.7	36.2	38.4	38.4	4.5	31.4	28.3	30.1	29.9	3.1
150	37.2	34.5	35.6	35.8	2.7	27.9	26.5	27.1	27.2	1.4
156	36.8	34.3	35.2	35.4	2.5	27.4	26.2	26.7	26.8	1.2

Fig. 4는 금형코어의 온도 측정을 위해 선택한 측정점들(A, B, C)이다. A(node no.: N177147)는 게이트의 하단 지점이며, B(node no.: N186158)는 내측 바닥의 모서리 지점, C(node no.: N196770)는 제품 측면의 최대 후육 지점이다. Table 1은 냉각시간별로 측정점 A, B, C에서 측정된 금형 코어의 온도 분포이다. 냉각 초기단계인 2sec 후에 SCC의 코어온도 분포는 39.6°C~47.4°C, 평균온도(\bar{m})는 43.7°C로 예측되었고, CCC의 코어온도 분포는 31.8°C~38.6°C, 평균온도는 35.4°C로 예측되었다. 냉각의 초기단계에서부터 CCC의 코어온도 분포가 SCC 보다도 7.8°C~8.8°C가 낮고, 평균온도가 8.3°C 만큼 낮게 냉각을 시작하는 것으로 나타났다. 또한 온도분포의 편차 Δ (=최대치-최소치)도 CCC는 6.8°C, SCC는 7.8°C로 예측되어 CCC의 코어 온도분포가 더 균일한 것으로 분석되었다. 또한, 156초가 경과된 냉각 완료단계에서는 SCC의 코어온도 분포는 34.3°C~36.8°C, 평균온도는 35.4°C로 예측되었고, CCC의 코어온도 분포는 26.2°C~27.4°C, 평균온도는 26.8°C로 예측되었다. 냉각 완료단계에서 CCC의 코어온도가 SCC 보다 8.1°C~9.4°C의 낮은 온도 분포를 보이며, 평균온도 차이는 8.6°C로 나타났다. 또한 온도분포의 편차는 SCC는 2.5°C인 반면에 CCC는 1.2°C로 예측되어 CCC의 코어온도 분포가 더 균일한 것으로 나타났다. 결과적으로, 냉각이 진행되면서 CCC의 코어 평균온도가 SCC에 비해 더 빠르게 하강하여 CCC의 냉각 효율이 더 우수하다는 것을 확인하

였다. 동시에 코어온도의 편차도 CCC가 SCC에 비해 더 작게 나타남에 따라 냉각의 균일성도 CCC가 더 우수함을 확인하였다. 따라서 이 연구에서는 해석에 사용된 형상적응형 냉각채널의 설계 데이터를 기초로 해서 화장품 외용기 금형의 코어를 비롯한 관련 요소들을 설계, 제작하였다.

3. 형상적응형 냉각채널 금형의 설계

3.1 상코어

상코어(upper core)는 제품 바닥면의 형상을 구현하며 밸브 게이트가 조립된다. 게이트 부근의 온도를 낮춰 제품 냉각시간이 단축되도록 게이트 주위를 직선 냉각채널들이 감싸는 형태로 설계하였다. Fig. 5는 상코어의 설계 형상이다.

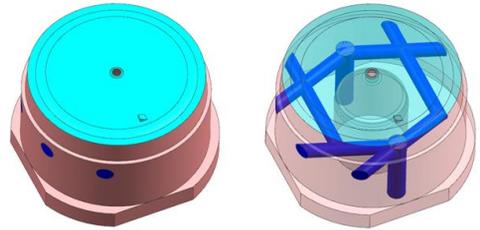
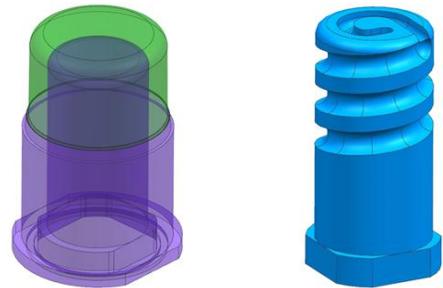


Fig. 5 Design shape of upper core

3.2 하코어

하코어(lower core)는 외용기의 내측 형상을 구현하며 게이트 하단의 핫스팟(hot spot) 부분과 원통형 용기의 내부를 균일하게 냉각시키기 위해 나선형 냉각채널을 적용하였다. 나선형 냉각채널을 가공하기 위하여 하코어를 외측 하코어와 내측 하코어로 분할하고 내측 하코어의 바깥에 나선형 냉각채널을 가공한 후 외측 하코어의 안쪽에 조립하는 방식이 되도록 설계하였다. Fig. 6은 설계된 하코어의 형상들이다.



(a) outer lower core (b) inner lower core

Fig. 6 Design shape of lower cores

3.3 슬라이드 코어

외용기에서 가장 두꺼운 측면 부위를 포함해 제품 외형의 대부분이 슬라이드 코어(slide core)에 의해 형성된다. 따라서 제품의 정밀도 확보와 사이클 타임 단축을 위해서 슬라이드 코어의 냉각채널 설계가 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 원형인 제품 형상을 구현하기 위해 슬라이드 코어를 두 개의 반원형 슬라이드 코어로 설계하였다. 그리고 각각의 반원형 슬라이드 코어에 형상적응형 냉각채널을 적용하여 설계하였다. 냉각채널의 배치와 관련 치수는 냉각해석 결과를 기준으로 설계하였다. Fig. 7은 슬라이드 코어에 적용하기 위해 제품 외측에 설계한 형상적응형 냉각채널이다. Fig. 8은 형상적응형 냉각채널을 적용해 설계한 슬라이드



Fig. 7 Configuration of conformal cooling channels designed for tooling slide core

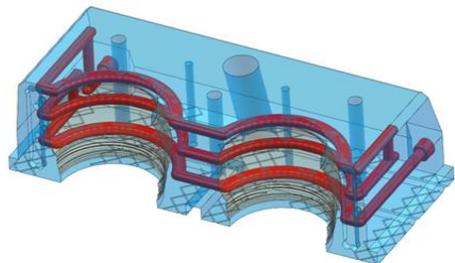


Fig. 8 Half part of designed slide core

코어의 형상이다.

4. 진공확산접합에 의한 슬라이드 코어의 제작

4.1 진공확산접합

진공확산접합(vacuum diffusion bonding)^[6]은 접합하고자 하는 소재들을 고온의 진공 접합로에 넣고 가압하면, 소재들은 접합면의 활성화, 원자간 이동, 회복, 재결정, 결정립 성장의 순차적 과정을 통해 하나의 소재로 접합된다. 진공확산접합이 완료되면 초음파 검사를 통하여 접합면의 접합상태를 확인한다.

4.2 레이어 설계 및 슬라이드 코어 제작

진공확산접합용 레이어(layer)^[6]의 설계는 슬라이드 코어에 적용할 형상적응형 냉각채널을 기계가공이 가능하도록 냉각라인을 기준으로 코어 소재를 분할하는 것이다. 본 연구에서는 Fig. 8에서 제품을 감싸고 있는 3단의 냉각채널을 기준으로 코어 형상을 4개의 레이어로 분할하고, 각 레이어별로 냉각채널을 설계하였다. 분할 라인을 기준으로 가공되는 냉각채널은 가공성을 고려하여 한 면에서 완성가공이 가능한 사각형 단면을 적용하였고, 냉각채널의 치수는 냉각해석에서 적용된 형상적응형 냉각채널(직경 8.0mm)의 단면적(=50.27mm²)과 유사한 단면적을 갖게 폭×높이를 6.3×8.0(mm)로 설계하였다. Fig. 9는 진공확산접합용 레이어들을 가공 제작한 결과이며, Fig. 10은 진공확산접합에 의해 제작된 최종 슬라이드 코어이다.

5. 시험사출

5.1 시험사출

시험사출은 제품을 생산하기 위해 다양한 성형조건 테스트를 통해 최적의 사출성형 조건을 설정하는 단계로서, 시험 사출용 사출성형기로 우진 플라임의 TH280SM(형체력 280ton)을 사용하였다. 시험사출을 통해 미성형 상태를 70% 성형, 80% 성형,

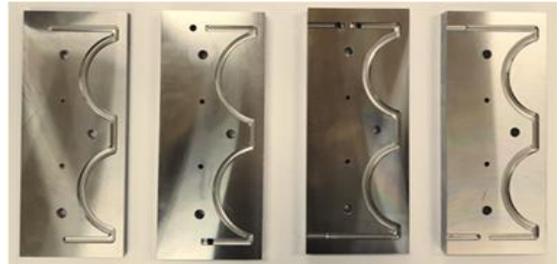


Fig. 9 Slide core layers



Fig. 10 Slide core completed by vacuum diffusion bonding

Table 2 Process conditions optimized by test injections

Description	Unit	Value					
		1	2	3	4	5	6
Cylinder temperature	℃	210	210	195	185	175	165
Injection speed	mm/s	5	50	45	40	35	25
Injection pressure	bar	50	75	70	65	60	50
Injection time	sec	20					
Packing pressure	bar	45					
Packing time	sec	10					
HRS temperature	℃	210					
Cooling time	sec	70					
Mold open / close / ejection time	sec	5 / 5 / 10					
Cycle time(sum)	sec	110					

90% 성형의 순서로 제품 성형상태를 확인해 가면서 성형조건을 설정하였다. Table 2는 시험사출을 통해 최적화된 성형조건이다. Fig. 11은 시험사출로 생산된 화장품 외용기 제품이다.



Fig. 11 Product produced by test injection

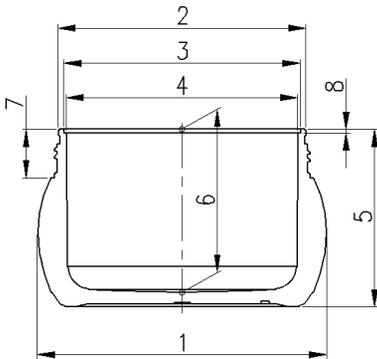


Fig. 12 Drawing for product measurements

Table 3 Result of measurements

Measure Number	Spec. (mm)	Tolerance (mm)	Value (mm)	Pass/Fail
1	Ø100.50	±0.1	100.43	Pass
2	Ø86.20	+0.00 -0.05	86.18	Pass
3	Ø82.20	+0.05 -0.00	82.22	Pass
4	Ø80.60	+0.05 -0.00	80.63	Pass
5	61.60	±0.1	61.55	Pass
6	56.60	±0.1	56.56	Pass
7	16.90	+0.05 -0.00	16.92	Pass
8	1.40	+0.05 -0.00	1.42	Pass

5.2 품질 검사

시험사출로 생산된 화장품 외용기에 대해 외관 품질과 치수 정밀도 검사를 실시하였다. 외관 품질은 장비를 이용한 검사와 검사 작업자가 육안으로

확인하는 검사로 나누어 진행하였다. 외관 검사를 위해 고광택면의 결함, 웰드라인, 수축, 플로마크, 기포, 흑점, 가스자국, 플래시, 단차 등을 확인하였으며 제품의 외관결함은 발견되지 않았다.

제품의 정밀도 검사를 위해 Fig. 12에 보인 치수 측정용 도면에 표기된 8개소에 대해 제품 치수를 측정하였다. 측정 위치 및 형상에 따라 마이크로미터, 비접촉 3차원 측정기와 하이트 게이지를 사용하였다. 8개소에 대해 치수를 측정한 결과, 모두 기준 치수의 허용 범위 안에 들어 문제가 없음을 확인하였다. Table 3은 치수 정밀도에 대한 측정 결과 표이다.

6. 결론

이 연구의 수행 내용과 결론은 다음과 같다.

1. 화장품 외용기에 대해 냉각채널의 설계 데이터를 확보하기 위해 냉각해석을 수행하였다. 냉각 완료 단계에서 형상적응형 냉각채널이 직선형에 비해 코어의 평균온도가 8.6°C가 낮아 냉각효율이 더 높은 것을 확인하였다. 또한 코어의 온도 편차도 1.3°C가 낮아 냉각 균일성도 더 우수한 것을 확인하였다.
2. 진공확산접합 공법을 이용하여 냉각채널이 가공된 네 개의 코어 레이어들을 하나의 슬라이드 코어로 제작하였으며, 기계가공 후 시험사출을 통해 접합면에 문제가 없음을 확인하였다.
3. 시험사출로 생산된 외용기 제품의 외관 품질과 치수 정밀도를 검사한 결과, 결함이 발견되지 않았으며, 살 두께가 10.2mm에 이르는 후육 고광택 투명 제품도 형상적응형 냉각채널을 적용해서 생산이 가능하다는 것을 확인하였다.
4. 시험사출을 통해 제품 생산을 위한 사이클 타임이 110sec로 나타났고, 따라서 1일 8시간 생산 시 최소 500개 이상의 제품 생산이 가능해 양산성이 있음을 확인하였다.

REFERENCES

1. Ahn, D. G., Park, S. H. and Kim, H. S.,

- “Manufacture of an Injection Mould with Rapid and Uniform Cooling Characteristics for the Fan Parts Using a DMT Process,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 11, No. 6, pp. 915-924, 2010.
2. Park, H. P., Cha, B. S., Lee, S. Y., Choi, J. H. and Lee, B. O., “Manufacturing of Rapid Tooling for Thick Wall Plastic Lens Mold with Conformal Cooling Channel,” *Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 27-32, 2007.
 3. Kim, W. S., Hong, M. P., Park, J. S., Lee, Y. S., Cha, K. J., Sung, J. H., Jung, M. H. and Lee, Y. H., “Case Studies on Applications of Conformal Cooling Channel Based On DMT Technology,” *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 3, pp. 9-14, 2015.
 4. Ahn, D. G. and Kim, D. W., “Selection of Injection Molding Conditions for Case Parts Produced by the Mould with Conformal Cooling Channels Using BEM Analysis,” *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference*, pp. 71-72, 2007.
 5. Park, H. S., Dang, X. P. and Song, X. P., “Improving the Cooling Efficiency for the Molding of a Complex Automotive Plastic Part by 3D Printing Technology,” *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 25, No. 4, pp. 508-515, 2017.
 6. Huang, J., Lu, Y., Wang, Q. and Lin, F., “Design and Fabrication of Conformal Cooling Channel with Vacuum Diffusion Bonding,” *Recent Patents on Chemical Engineering*, Vol. 6, No. 3, pp. 176-183, 2013.
 7. Shin, N. H., Oh, H. S. and Kang, S. G., *The Optimization of Injection Molding Process by CAE*, Daekwangseolim, Seoul, pp. 327-422, 2010.