

CAE를 이용한 플라스틱 사출 금형 제품 개발

권창오* · 양창환** 이정훈*** 김기환**** 송동주*****

Numerical Study for Plastic Injection Molding Process Using CAE

C.O. Kwon, C.H. Yang, J.H. Lee, K.H. Kim, and D.J. Song

Abstract

The present work is investigated optimal design for the injection molding process of a hand brake cover. The viscoelastic flow through a hand brake cover shape in the mold were calculated and compared with the experimental data. Numerical analysis reasonably predicted the general performance i.e hold pressure, cooling time and hold pressure time. In order to determine optimal process parameters, Numerical analysis and experiments have been performed for various process conditions. In this study, we obtained to increase in the productivity by 160% by optimal process conditions.

Key Words : 사출 금형(Injection Molding), 컴퓨터 원용 수치 해석(CAE), 최적 공정 조건(Optimal process condition)

1. 서 론

우리 주위에서 흔히 보는 플라스틱 제품은 대부분 금형을 제작하고 사출을 해서 만들어 진다. 제품에 따른 효율적이고 최적화된 사출조건을 찾는다면 금형을 다시 수정하는 일이 거의 없어지므로 인건비나 재료비등을 많이 절감할 수 있다.

사출해석 프로그램 "C-MOLD"를 이용하여 변위량과 수축률을 위주로 해석을 해보고, 조건에 따라 직접 사출해 봄으로써 이를 검증하는 작업을 해보았다. 그리하여 최적의 조건을 찾는 데에 중점을 두었다. 시제품의 외관상의 오류를 눈으로 확인해 보기 위해서 RP공정을 추가하였다. 그리고 3차원측정기로 실제 사출품을 측정해 봄으로써 프로그램상에서 다룬 사출해석결과와 비교해서 이론과 실제와의 연관성을 알아보고자 하였다.

2. 사출금형 최적설계를 위한 해석 방법

2.1 CAD

2.1.1 작업 개요

사출해석 프로그램인 C-MOLD를 이용하여 사출품을 해석하기 위해 CATIA 4 버전을 사용하여 제품의 형상을 모델링 하였다. 그러나 모델링 한 제품 형상을 바로 사출 해석용 프로그램에 사용 할 수가 없다. CATIA 4 버전의 model화일을 중립화일인 igs로 바꾸어 주어야 하기 때문이다. 중립화일 변환은 CATIA 5버전에서 수행하였다. 이렇게 변환된 IGES화일은 C-MOLD에서 바로 쓸 수 있다. c-mold에서 해석하는 모델링은 두께를 고려한 중립면으로 surface모델링을 해야만 된다.

* 경북테크노파크 성형기술전문연구센터

** 한양대학교 대학원

*** 영남대학교 기계공학부 제학중

**** 영남대학교 대학원

***** 영남대학교 기계공학부

C-MOLD해석에서는 중립면을 기준으로 양쪽으로 normal한 방향으로 두께가 부여한 상태에서 해석이 되기 때문이다. 하지만 핸드브레이크 커버는 두께가 1.5mm이므로 큰 영향을 미치지 않는 것 같다.

2. 1. 2 IGES 중립파일 변환

이 방법은 공개된 입력과 출력을 하여 다른 CAD/CAM시스템과 데이터를 교환하는 방법이다. 따라서 각각의 CAD/CAM시스템은 지정된 중간 파일 형태로 쓰고 읽을 수 있는 기능만 있으면 CAD/CAM시스템의 기종에 관계없이 데이터를 교환할 수 있다. 이 방법은 CAD/CAM시스템의 하드웨어, 종류, 버전에 종속되지 않고 독립적이므로 직접변환보다 좋은 방법이라 할 수 있다.

2. 2. 컴퓨터 원용 수치해석(CAE)

CAE는 실제 물리적인 현상을 수치적으로 모사하여 컴퓨터를 사용하여 해석함으로써 결과를 예측하는 컴퓨터 시뮬레이션 기술로서, 플라스틱 사출 성형 분야에서 제품 설계, 금형 설계 및 성형 조건의 분석 등 다양한 목적으로 사용되고 있다. 본 연구에서는 공정의 특성에 영향을 미치는 여러 인자를 선정하고 이들의 관계를 체계적으로 조사, 분석함으로써 최적의 공정변수를 경제적으로 찾아 내고자 한다.

2. 2. 1 공정 변수의 선정

Figs. 2(a)~(c)은 본 연구에 적용된 핸드 브레이크 커버의 제품 형상, 격자계 및 러너 시스템을 3차원적인 형상을 이용하여 도시해 보았다. 게이트는 제품 1개당 1개의 핀 포인트 게이트를 사용하였다. 여기서 각각의 게이트와 러너의 설계에 따라 제품의 유동패턴이 차이가 발생하고, 냉각 시스템의 설계, 냉각 및 보압 시간등 여러 공정 변수에 따라 제품 형상의 치수, 정밀도 및 생산성에 많은 영향을 미친다. 그러므로 본 연구에서는 공정 변수들을 입력 변수로 선정하여 아래의 조건들에 대해 해석해 봄으로써 주어진 형상에 대한 최적의 공정 변수를 알아 보고자 한다.

- 보압 시간 및 보압에 대한 해석 및 결과 비교
- 용융 온도 및 냉각 온도에 대한 해석 및 결과 비교
- 러너 직경 변화에 대한 해석 및 결과 비교

2. 2. 2 최적 성형 조건을 위한 해석 결과

본 연구에서는 핸드 브레이크 커버 사출 공정 최적화를 위해 위에서 제시한 공정 변수를 변화하여 최적 사출 조건을 찾아 보았다. 이를 위해 금형 설계 조건은 고정 시키고 사출에 관련된 공정 변수 즉 보압, 보압 시간, 냉각 시간, 금형 온도 등의 공정 변수를 다양한 조합으로 해석 하여 보았다. 이를 위해 C-MOLD를 사용하여 유한 요소 해석을 수행해 보았다. 이때 최적의 공정 변수를 얻기 위한 목표로 유동의 균형, 생산 시간의 최소 및 생산성 향상 등을 설정하였다.

첫째, 보압 및 보압 시간에 대해 해석을 수행해 보았다. 계산에 사용된 조건은 보압 시간이 1.5, 3, 6, 9, 12 초로 변화 할때 각각의 보압이 5, 10, 15MPa 이다. 계산에 사용된 재료는 PP이다.

Fig. 3은 두 노드점의 거리 변화율을 나타낸 그림이다. 결과에서 보는 것 같이 보압 시간이 증가 할수록 변위 변화량이 감소 하다가 일정한 값으로 유지되는 것을 알 수가 있으며 보압 시간을 6초 이상에서 변위 변화량에 크게 영향을 미치지 못함을 알 수가 있다. 그러므로 보압 시간이 6초 이상으로 설정 한다는 것은 제품 생산 시간이 더 오래 걸리므로 생산성을 저하 시킬 수 있다는 것을 알 수가 있다. 변위 변화량은 짧은 보압 시간과 낮은 보압에서 크게 나타 나고 있으며 보압이 증가 할수록 감소하다 증가하는 경향을 나타 내고 있다.

Fig. 4은 체적 수축율을 나타낸 그림이다. 보압 보다 는 보압 시간에 영향을 많이 받으며, 거리 변화율과 같이 6초 이상에서는 큰 영향을 미치지 못함을 알 수가 있었다.

Fig. 5은 체결력(clamp force)을 나타낸 그림이다. 보압 시간에 따라서 영향은 적었으나 보압의 크기에 따라 많은 차이를 보여 주고 있다. 보압이 커짐에 따라 injection entrance에 가해지는 압력이 증가하고 이 압력이 힘으로 나타 난 것이다. 체결력이 커진다는 것은 금형에 무리한 힘을 줄 수가 있으므로 사출기 용량에 맞는 최적의 보압 설정이 필요하다.

Fig. 6은 sink index를 나타낸 그림이다. sink index는 보압이 증가 할수록, 보압 시간이 길어 질수록 감소하며 6초 이상에서는 sink index가 없어짐을 알 수가 있다. 이것은 보압이 커지면서 캐비티(cavity)안에 들어가는 수지의 양이 우선 많아지고 보압되는 시간 동안 제품이 냉각 되면서 뜨거운 부분에서 함몰이 일어 날 가능성

이 줄어 들기 때문이다.

Fig. 7은 단품의 중량을 나타낸 그림이다. 보압 시간이 1.5초 일 경우에는 보압의 크기에 따라 큰 차이를 보이지 않음을 보여 주고 있으며 보압 보다는 보압 시간에 영향이 큼을 보여 주고 있다. 그러나 6초 이상의 보압 시간에는 각 보압에 대해 중량은 거의 일정함을 알 수가 있었다.

두번째로 용융 온도 및 냉각 온도에 대해 해석을 수행해 보았다. 계산에 사용된 조건은 용융 온도가 150℃, 200℃, 400℃으로 변화 할때 각각의 금형 온도가 10℃, 20℃, 50℃이다.

Fig. 8은 용융온도와 냉각 온도 변화에 따른 노드점의 거리 변화율을 나타낸 그림이다. 용융온도와 냉각 온도를 높일수록 노드점의 변화율은 증가 됨을 알수가 있으며, 냉각 온도보다는 용융 온도가 노드점 변화율에 더 많은 영향을 미치고 있음을 알 수가 있었다.

Fig. 9은 용융온도와 냉각 온도 변화에 따른 체적 수축율을 나타낸 그림이다. 높은 용융온도와 냉각 온도의 조건을 갖는 제품의 체적 수축률이 더 크다는 것을 의미한다. 이것은 높은 온도의 수지를 제대로 냉각하지 못하는 원인도 있지만 같은 시간 동안 냉각을 시켰을 경우 높은 온도의 제품이 더 많은 수축을 한다는 것을 보여 주고 있다.

Fig. 10은 용융온도와 냉각 온도 변화에 따른 sink index를 나타낸 그림이다. 보압을 주었을 때 나타나지 않았던 함몰이 용융 온도와 냉각 온도가 높아 질수록 다시 함몰이 일어나는 것을 알 수가 있었다. 이것은 전체적인 금형속의 온도가 높아지므로 인해 수지가 굳게 굳지 못하고 냉각이 끝나면서 굳지 못한 수지가 함몰된 것으로 보여진다.

세번째로 런너 직경을 변경 시키며 해석을 수행해 보았다. 온도의 해석 결과들을 분석 해 본 결과 냉각이 된 후에도 런너 부근에서 상당히 높은 온도를 나타 내고 있었다. 이런 결과는 런너의 직경이 큰 이유로 보고 런너의 직경을 아래의 표와 같이 변경해 보았다(Table 1 참조).

Table 2에 나타난 바와 마찬가지로 런너 부분에서의

Table 1 Design variables (runner diameter)

	변경전	변경후
Tapered Runner	초기직경 : 5mm	초기직경 : 3mm
	끝 직경 : 10mm	끝 직경 : 7mm
중간 Runner	직 경 : 10mm	직 경 : 7mm
마지막 Runner	직 경 : 7mm	직 경 : 5mm

Table 2 Results for the runner diameters

	Process total(%)	Volumetric Shrinkage (%)	Clamp Force (ton)	Part weight (g)
변경전	-0.69	1.2257	141.32	34.881
변경후	-0.85	1.5658	121.65	34.799

온도와 형 체결력은 줄어 들었으나 수축률이 다소 증가 하는 경향을 보여 주고 있으나 허용 기준내에 들어 가는 수치이므로 런너의 직경을 줄이는 것이 경제적라고 생각 된다.

3. 실제 사출 결과

CAE를 이용하여 해석한 결과를 통하여 아래표(Table 3 참조)와 같은 최적의 조건을 설정하고 협력 업체에서 사출을 하여 3차원 측정을 실시해 보았다.

Table 3 Optimal process condition

	압 력	속 도	시 간	설정위치
사출1차	65 kg/cm ²	55 %	4.5 s	10 mm
보압	102 kg/cm ²	20 %	9 s	5 mm
계량	100 kg/cm ²	60 %	30 s	100 mm
흐름방지	30 kg/cm ²	30 %		105 mm
냉각 시간	12 sec			
melt 온도	200 ℃			
coolant 온도	10 ℃			
결 과	총공정 시간	35.5 sec		
	3차원측정 결과	1.010 % (수축)		

3.1 실제 사출 조건 변화

실제 제품을 생산하는데 있어 설계 조건을 만족하며 생산량 및 최소한의 재료를 사용하는 것이다. 실제 사출에서 조건(사출압, 보압, 냉각 시간 및 용융 온도)을 변화 시켜 실제 사출품과 CAE 해석 결과에서 도출한 최적의 공정 조건을 비교 하고자 한다.

첫번째로 사출 1차 압력을 변화 시켜 보았다. 그림에서 보는 것과 마찬가지로(그림 참조) 사출압이 55kg/cm² 이하 일 경우에 미성형이 일어나는 것을 볼 수가 있으며 사출압 증가시(75kg/cm²) 오히려 수축이 증가하는 것을 알 수가 있었다(Fig. 11 참조).

Table 4 Results of injection pressure change

사출1차 압력(kg/cm ²)	총공정 시간(초)	3차원측정 결과	비 고
45	35.6	-	불량
55	35.4	-	불량
75	35.5	1.019% (수축)	수축율 증가

두번째로 보압을 변화 시켜 보았다. 보압을 변화한 결과 약간의 수축률 차이는 보이고 있으나 모두 다 허용치(2.5%)안에 드는 수치이므로 보압을 준 경우와 주지 않은 경우 둘 다 양호한 제품을 얻을 수가 있었다. 그러므로 보압을 주지 않았을 때는 공정 시간을 9초 정도 줄일 수 있는 효과를 얻을 수가 있었다(Fig. 12 참조).

Table 5 Results of hold pressure change

보압 (kg/cm ²)	총공정 시간(초)	측정 결과	비 고
50	35.4	1.141% (수축)	수축율은 증가, 공정시간 변화 없음
0	26.5	1.203% (수축)	수축율은 증가, 공정시간 9초 단축

세번째로 냉각 시간을 변화 시켜 보았다. 냉각 시간을 6초로 줄였을 때 수축율은 오히려 감소 하였으며 3초 일 때는 다시 수축율이 증가 하는 경향을 보여 주고 있다. 이 결과로 볼 때 최적의 냉각 시간은 6초임을 알 수가 있었다. 그러나 냉각 시간이 3초 일 경우에도 수축율이 2.5 %가 안되는 양호한 제품이다. 그러므로 공정 시간을 줄이기 위해서는 냉각 시간을 3초로 하는 것이 적당

하다고 본다(Fig. 13 참조).

Table 6 Results of cooling time change

냉각 시간	총공정 시간	3차원측정 결과	비 고
6 sec	32.7 sec	0.954% (수축)	수축율이 줄어들며, 공정시간 2.8초 단축
3 sec	32.5 sec	1.233% (수축)	수축율은 증가, 공정시간 3초 단축

4. 결론

산업체에서 생산 되고 있는 브레이크 핸드 커버를 CAE 해석과 실제 사출을 수행해 봄으로 제품을 생산 할 경우에 최적의 공정 변수를 도출 해 보았다.

Table 7 Results of optimal process condition

사출1차	보 압	냉각시간	melt 온도
65 kg/cm ²	102 kg/cm ²	6 sec	200 °C

치수 정밀도를 요구하는 제품이 아닌 것을 고려 해 볼 때 생산량의 향상 시키기 위해 다른 최적의 조건을 찾을 수가 있었다. 보압을 주지 않고 냉각 시간을 3초로 조절하는 것이었다. 이 공정을 통해 사출을 한 결과 수축률은 1.205%, 공정 시간을 35.5초에서 21.6초로 13.9초를 단축 시킬수가 있었다. 이것은 사출기 가동 시간을 8시간으로 가정 하였을 경우 하루 1,622개의 제품을 2,666개를 생산 할 수가 있으며 생산량을 1.6배 향상 시킬 수가 있다는 결론을 얻을 수가 있었다

Table 8 Comparison with process conditions

보 압 (kg/cm ²)	냉각 시간(초)	총공정 시간(초)	3차원측정 결과(수축)	비 고
0	20	34.6	-	산업체
102	12	35.5	1.010%	해석결과
0	3	21.6	1.205%	13.9sec 단축

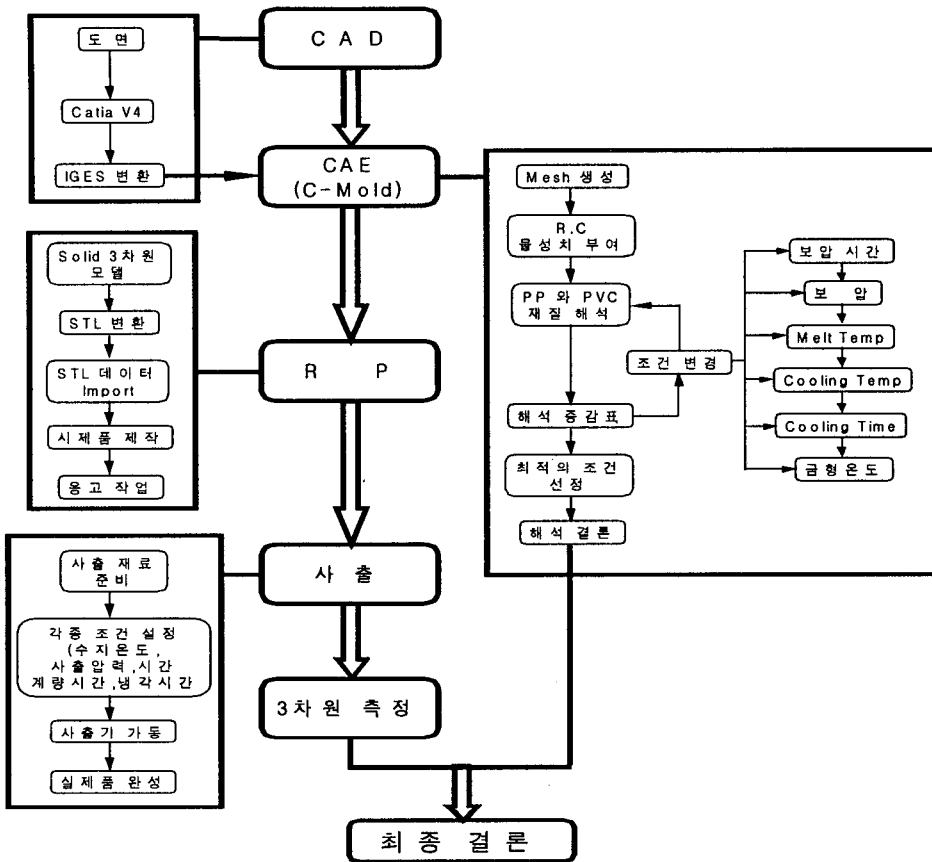


Fig. 1 Schematic procedure

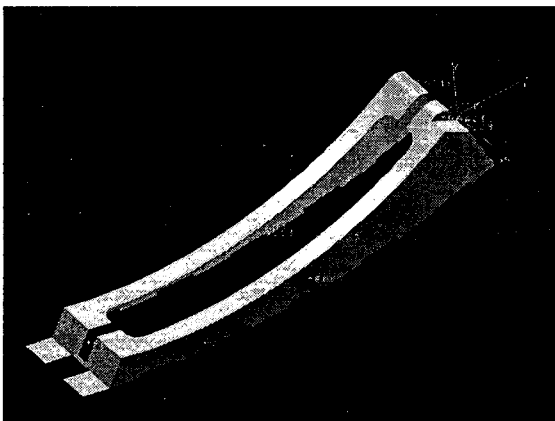


Fig. 2(a) Geomtry

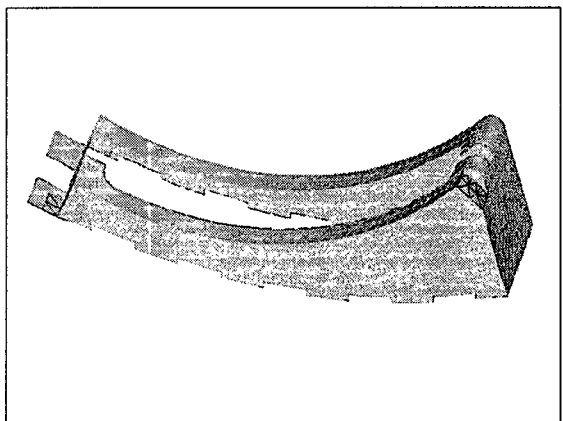


Fig. 2(b) Finite element meshes

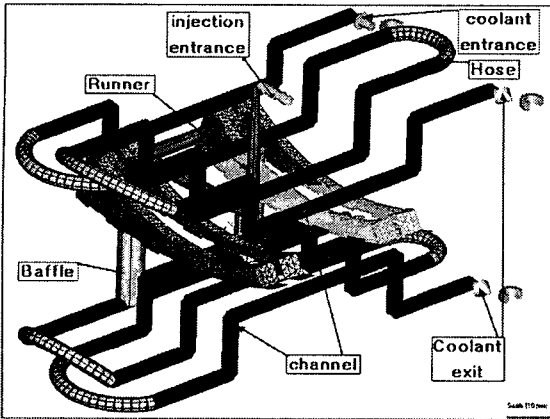


Fig. 2(c) Three-dimensional shape of the hand brake cover

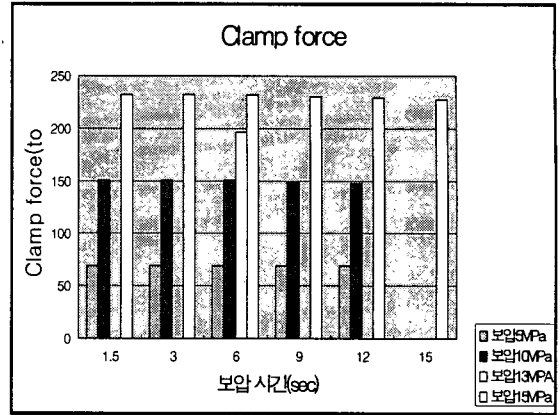


Fig. 5 Plot for the clamp force

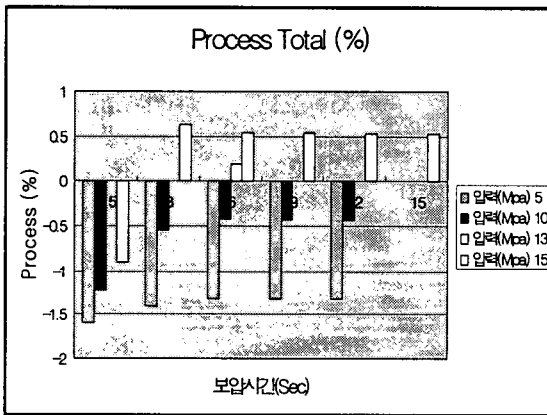


Fig. 3 Plot for the displacements(process total)

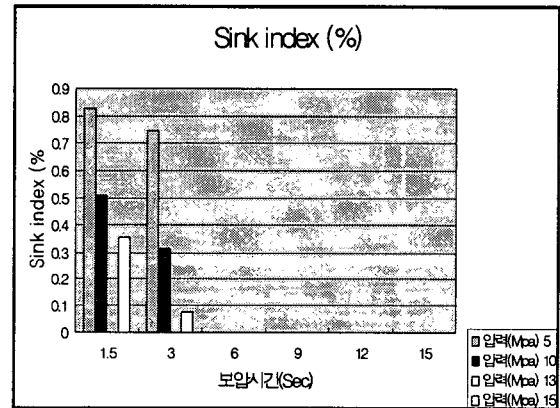


Fig. 6 Plot for the sink index

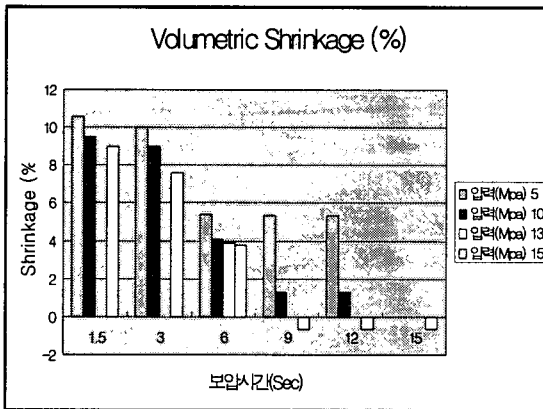


Fig. 4 Plot for the volumetric shrinkage

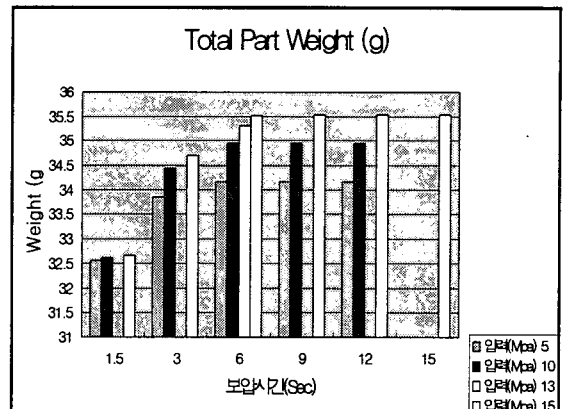


Fig. 7 Plot for the total part weight

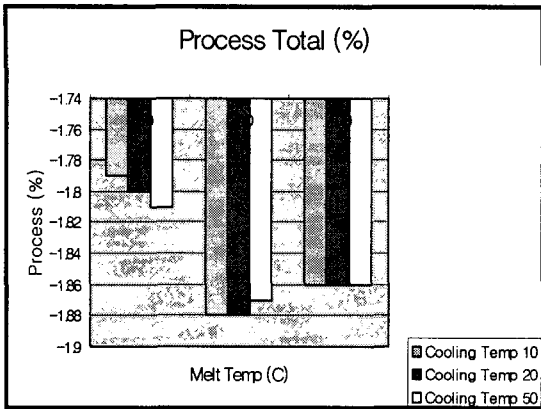


Fig. 8 Plot for the displacements

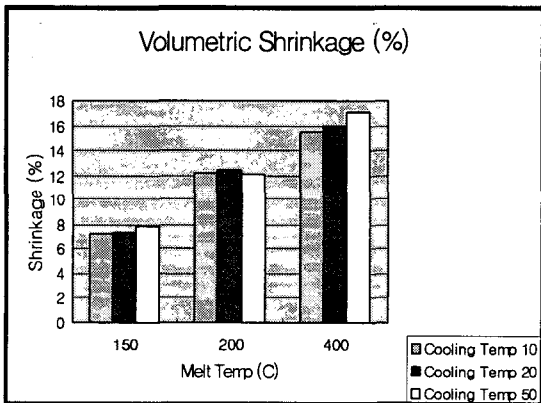


Fig. 9 Plot for the volumetric shrinkage

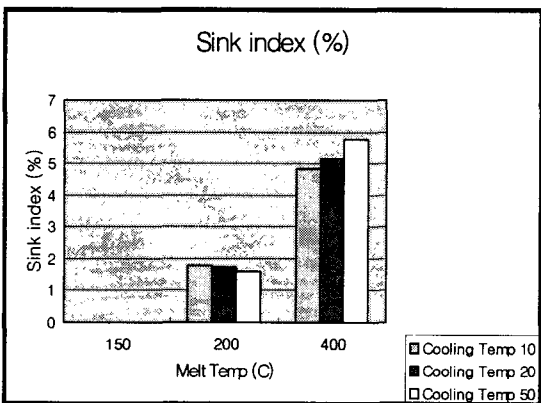
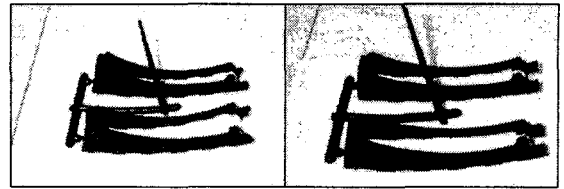
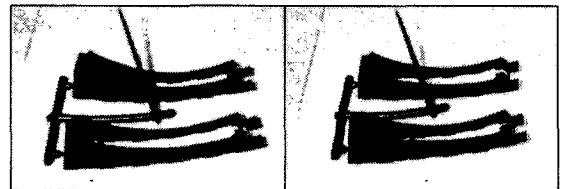


Fig. 10 Plot for the sink index



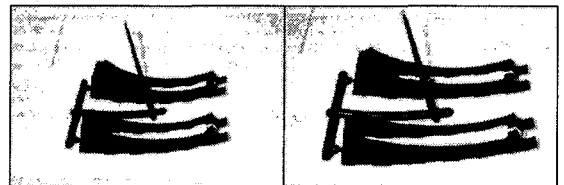
(a) (b)

Fig. 11 Results of experiment : (a) injection pressure 45kg/cm² (b) injection pressure 75kg/cm²



(a) (b)

Fig. 12 Results of experiment : (a) hold pressure 50kg/cm² (b) injection pressure 0kg/cm²



(a) (b)

Fig. 13 Results of experiment : (a) cooling time 6 sec (b) cooling time 3 sec

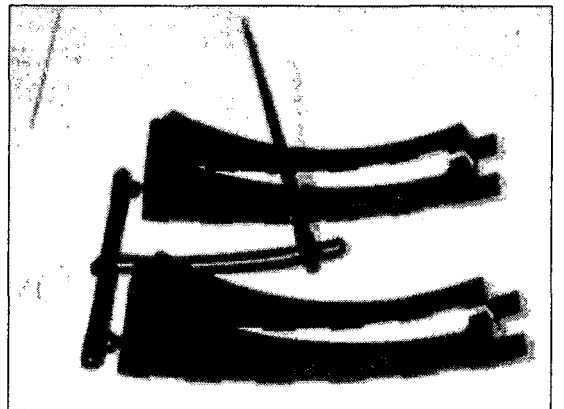


Fig. 14 Results of experiment for optimal process condition