

Monitor Backcover 의 사이클 타임 단축에 관한 연구

윤경환[#], 김주권¹

A Study on The Reduction of Cycle Time in Injection Molding Process of The Monitor Backcover

K. H. Yoon, J. K. Kim

(Received November, 8, 2004)

Abstract

In the present study we used a diagrammatic analysis of 6 sigma quality control and Taguchi method for injection molding of monitor back-cover, evaluated the influence on the cycle time with part design, mold design, molding process and standardization activity involving design and molding, adopted analysis of sensitivity and effective factors of the part design and molding process conditions for productivity, identified main design molding factors. The contributing factors for the final cycle time could be enumerated as follows; the thickness of hot spot, main nominal part thickness, coolant inlet temperature, melt temperature and cooling line layout, etc.. As a first step, all the critical factors of design process applied to the current monitor housing were investigated through 6 sigma process. Thereafter, the optimal and better critical factors found in the first step were applied to new product design to prove that our process was correct. The Moldflow was used for injection molding simulation, and Minitab software for the statistical analysis, respectively. Finally the productivity of new design was increased about 33 percents for our specific case.

Key Words : Injection Molding, Cycle Time, Taguchi Method, Computer-Aided Engineering

1. 서 론

플라스틱은 사용량이 날로 급증하여 범용재료 뿐 아니라 고기능성 재료까지 개발되고 있고 이들 재료의 상당량이 사출성형공정에 쓰여지고 있어 사출성형을 이용한 정밀도와 생산성 향상을 위한 연구가 수행되고 있지만 높은 투자비와 전문인력 부족으로 애로를 거듭하고 있는 실정이다. 과거 대부분의 사출성형은 과학적이고 체계적인 이해부족으로 생산현장에서 얻어진 경험과 시행착오적인 방법에 의하여 품질개선 활동을 추진하여 왔으나 다양한 고분자 재료의 성질과 복잡해진 금형구조, 지능화된 사출 성형기등으로 어려움

을 겪어 왔다. 특히, 오늘날 급증하고 있는 높은 정밀도 및 기계적인 강도에 대한 요구를 충족시키고 원가절감을 통한 생산성 향상을 위하여 각종 설계조건과 공정 중 수반되는 복잡한 여러 현상을 예측하고 해석할 수 있는 수학적인 모델링 및 그 해석기법이 필요하게 되어 몰드플로우(Moldflow)사를 비롯한 상용업체와 학교에서 수치해석 프로그램을 개발하고 이를 사용한 원가절감 및 효율성 증대 효과가 점차 부각되고 있다. 그래서 본 논문은 브라운관 모니터의 원가경쟁력 확보를 위하여 모니터 하우징(Monitor backcover)에 6 시그마 품질활동을 이용한 수치해석과 다구찌 기법을 적용하여 사출성형 공정의 전체 공

교신저자: 단국대학교 기계공학과, khyoon@dankook.ac.kr
1. LG전자 생산기술원, 단국대학교 대학원 기계공학과

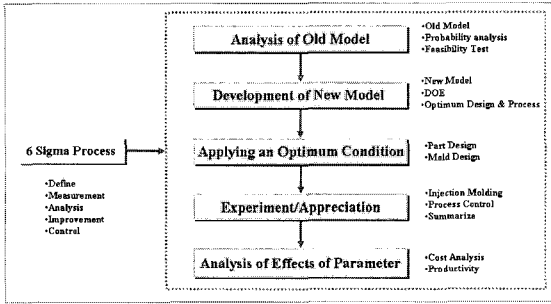


Fig. 1 Process of study

정 중 60~70%의 시간 비율을 차지하는 냉각과정에 영향을 미치는 각 인자별 민감도와 기여도를 분석하여 사이클타임을 단축시킬 수 있는 방법을 제시하고자 한다. Fig. 1의 6 시그마 프로세스를 기본으로 하여, 기존에 양산중인 부품을 대상으로 사이클 타임을 측정하여 현 수준을 분석하고, 이 양산품을 시험 적용하여 제품설계, 금형설계, 성형설계 측면의 사이클 타임을 단축할 수 있는 개선점을 찾고 이 개선점을 신규로 개발하는 제품에 적용하기 위한 실험계획을 수립하고 적용한 후, 효과를 분석하는 방법으로 추진하였다.

따라서, 본 연구에서는 사이클 타임을 단축하고 불량률을 최소화하여 궁극적으로 생산성의 향상을 최종 목표로 하고 있다.

2. 실험

2.1 정의 (Definition)

본 연구에서는 브라운관 형태의 모니터 원가경쟁력 확보를 위하여 제품설계단계에서 사출성형 공정에 6 시그마 프로세스와 다구찌 기법을 적용하고자 한다.

연구대상은 Fig. 2 와 같은 15 인치용 모니터 하우징(Backover)으로 기존 제품의 두께는 2.5mm 이고, 성형재료는 LG 화학(주)에서 생산하는 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)와 PC(Poly Carbonate)/ABS 를 이용하였다. 제품을 생산하기 위한 장치로는 LG 전선(주)의 850 톤 사출기를 사용하였다.

2.2 측정 (Measurement)

측정 단계는 개선하고자하는 대상의 현 상태를 측정하는것으로 기존 부품의 사출공정상 소요되는 사이클 타임은 54.5sec 로 충전시간이 5.1sec,

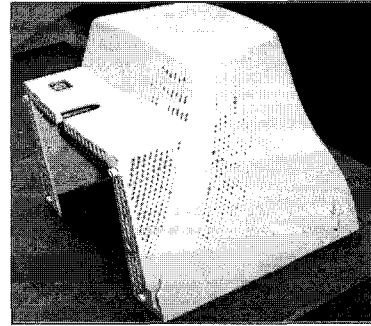


Fig. 2 The picture of current model of monitor back-cover

보압시간이 6.9sec, 냉각시간이 25sec, 취출시간이 17.5sec 였다. 또, 품질수준은 42,200ppm 으로 3.23σ 수준이었다. 이와 같은 수준의 대상을 사이클 타임 20% 단축을 목표로 품질 수준의 저하가 없는 조건을 찾을 것이다.

2.3 분석 (Analysis)

사이클 타임에 미치는 치명인자를 도출하기 위하여 Process mapping 기법을 사용하였다. 이는 개발품의 설계에서 생산까지의 공정을 도식화하고, 사출 사이클 타임의 개선을 위한 잠재적 개선인자를 추출하는 과정이다. Process mapping 결과를 Fig. 3 과 같이 나타냈다. 이는 제조공정 및 서비스의 흐름도를 도식화하여 중요 개선공정을 도출하거나 잠재적인 개선인자를 추출하는 기법이다.

Fig. 3 에서 개념설계에서부터 양산까지의 공정을 표시하였으며, 각 인자들 중 개선이 가능한 인자는 “C”로 개선이 불가능한 인자를 “N”으로 표시하였다.

또한, 개선이 가능한 인자들로만 기준으로 하여 목적함수에 영향을 미치는 인자들을 분석대상과

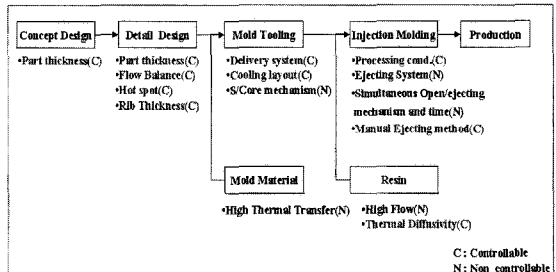


Fig. 3 Chart of process mapping

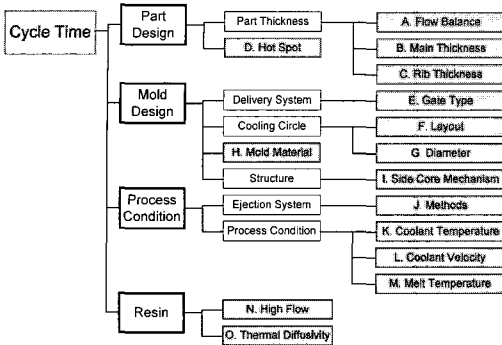


Fig. 4 Logic tree for reduction of cycle time

범위에 따라 분류를 하여 Fig. 4에 도시하였다. 이때 인자가 중복되지 않도록 그룹핑하였다.

본 연구에서는 목적함수인 사이클 타임에 영향을 미치는 인자를 기준으로 분류하였다. 이는 제품이 빨리 냉각되어야 하고, 냉각효율이 높아야 하며, 취출성이 좋아야 한다. 또한 성형성이 좋아야 하는 형태로 분류하였고, 제품설계, 금형설계, 성형조건, 원재료로 정리가 된다.

제품설계의 경우 제품의 두께를 기준으로 균형 충진을 위한 충전밸런스 부분과 기본 두께를 최소화 하기 위한 부분, 국부적으로 아주 두께가 두꺼운 부분(Hot spot)등으로 분류가 가능하고, 금형설계의 경우에는 충진을 위한 수지 주입기구 부분(Delivery system)과 냉각회로 설계부분, 금형재질 부분, 금형구조 측면으로 분류하였다. 또 성형조건 측면에서 취출방법 및 구조의 영향을 분석하는 측면과 성형온도, 금형온도, 성형속도 등의 성형조건 측면으로 분류하였다. 마지막으로 원재료 측면은 고유동성 수지와 열전도성이 좋은 수지로 구분하였다.

이렇게 선정된 인자들을 잠재적 인자라 하고, 인자의 수가 많은 경우 실험의 효율성과 집중도를 높이기 위하여 인자를 구체화 하게 된다. 먼저 성품/금형관련 전문가를 대상으로 기술자문과 관련자료 분석을 통하여 잠재적 인자를 분석하여 가인자를 선정하게 된다. 이를 통하여 Logic tree에서 선정된 15개의 잠재인자가 10개의 가인자로 재선정되었다. 본 기법은 전문가들에게 설문 또는 면접방식으로 중요성, 비용, 시급성, 용이성, 효과 측면으로 각각에 비중을 달리 두어 일정한 기준으로 분석하고, 기준이하의 포지션(%Rate)을 차지

Table 1 Sheet of critical X's survey

Input Variables	Cycle Time					
	Importance	Cost	Urgency	Easiness	Effort	Total %Rate
Part Design						
A. Flow Balance	5	5	5	5	4	24 8%
B. Main Thickness	5	5	5	3	5	23 8%
C. Rib Thickness	3	5	3	3	2	16 6%
D. Hot Spot	5	5	5	4	5	24 8%
E. Gate Type	5	3	5	5	5	23 8%
F. Cooling Layout	5	4	4	5	5	23 8%
Mold Design						
G. Cooling Diameter	5	4	4	5	5	23 8%
H. Mold Material	2	1	1	2	5	11 4%
I. S/Core Mechanism	2	2	1	2	4	11 4%
J. Ejecting method	2	1	5	1	5	14 5%
Process Conditions						
K. Coolant Temp.	5	4	5	5	5	24 8%
L. Coolant Velocity	5	3	5	5	5	23 8%
M. Melt Temp.	5	3	3	5	4	20 7%
Resin						
N. High Flow	5	1	5	1	3	15 5%
O. Thermal Diffusivity	5	1	5	1	4	16 6%

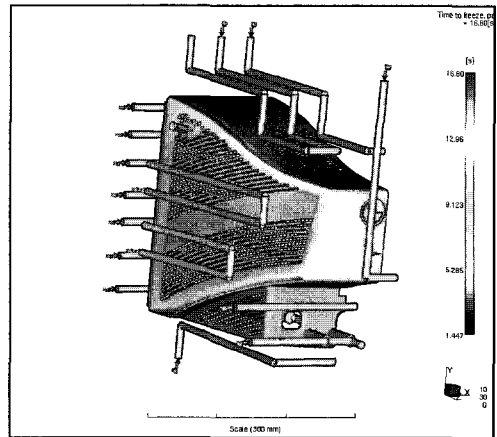


Fig. 5 The current model used in numerical simulation

하는 인자를 삭제하는 방법이다. Table 1은 잠재적 인자에서 가인자를 취출하기 위하여 사용한 조사양식(Survey sheet) 및 결과이다.

본 연구에서 분석기법은 MOLDFLOW를 이용한 수치해석을 사용하였고, 평가기준은 제품이 사출 후 냉각(고화)되는 시간으로 하였다. Fig. 5는 모사에 사용된 MOLDFLOW모델을 나타내고 있다.

또한 목적함수인 사이클 타임에 영향을 미치는 인자를 이용하여 식(1)과 같은 목적함수에 어떠한 영향을 미치는지를 검증하고 상관관계를 분석하게 된다.

$$t_c = \frac{s^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left[\left(\frac{8}{\pi^2} \right) \left(\frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \right] \quad (1)$$

여기서 t_c 는 냉각 시간, s 는 살두께, α 는 열확산계수, T_W 는 벽면 온도, T_M 는 금형 온도, T_E 는 취출 온도이다.

먼저 제품설계 인자인 제품의 기본두께와 hot

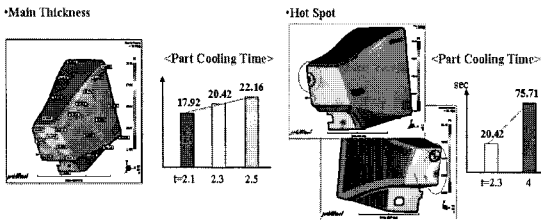


Fig. 6 Verifying of critical X's of part thickness

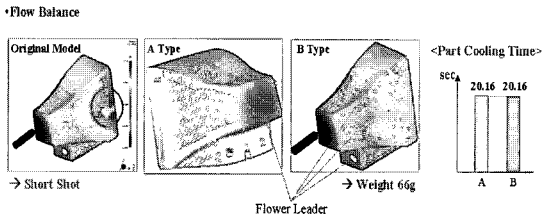


Fig. 7 Evaluation of flow balance

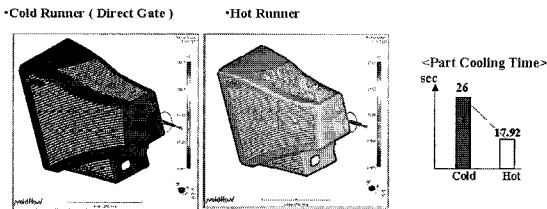


Fig. 8 Analysis of gate type for cooling time

spot 을 분석한 결과 제품의 특성상 회사의 로고가 들어가는 부분으로 판명되었다. 기존 제품의 살두께는 2.1mm 를 최저 두께로 하여 기능상 문제가 없는 두께인 2.5mm 까지의 범위에서 사출후, 성형품이 고화되는 시간을 분석한 결과, 두께 증가의 영향은 Fig. 6 에서 보는 것과 같고, 특히, 국부적 고온점인 hot spot 이 발생하여 고화시간이 크게 증가하였다. 이와 같이 국부적 고온점인 hot spot 의 유무가 고화시간에 미치는 영향이 아주 큰 것으로 나타났다.

두번째로 Fig. 7에서와 같이 균형있는 충전을 위하여 일반적으로 유로를 설치하게 되는데 유로의 설치가 냉각시간에 미치는 영향을 연구한 결과, 상관관계가 나타나지 않아 치명인자에서는 제외하였다.

다음은 Fig. 8과 같이 주입기구인 게이트 종류에 따른 영향을 평가하였는데, hot runner 가 cold runner

에 비하여 성형품 고화시간이 약 8sec 이상 적었다. 그래서, 실험을 위한 인자에서는 제외하고 hot runner 를 적용하기로 결정하였다.

냉각회로 구성이 냉각시간에 미치는 영향을 분석하기 위하여 냉각을 하지 않았을 때, 기존모델에서의 냉각회로, 냉각수 주입온도, 냉각회로 추가시, 냉각라인의 직경을 증가하였을 때로 나누어 연구한 결과, 모두 냉각시간과의 상관관계가 확인되어 치명인자로 선정하였다. Fig. 9에 냉각회로 설계방법과 입수조건에 따른 냉각시간과의 상관관계를 도시하였다. 즉, 냉각라인의 직경을 증가시킬수록, 또 냉매의 온도를 낮출수록 냉각시간이 감소하는 경향을 보였다.

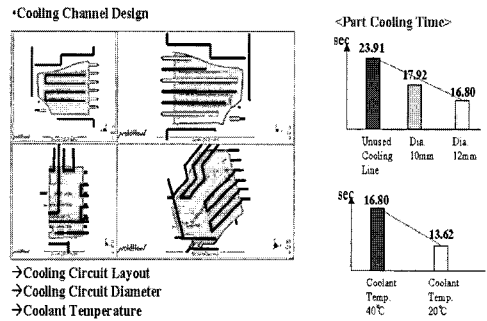


Fig. 9 Analysis of cooling line design and conditions

다음으로 냉각수 속도에 따른 영향을 평가하였는데, 냉각수 속도 및 유량은 냉각회로 구성에 따라 달리 나타난다. 냉각수 속도는 1.26l /min 일 경우 난류가 형성됨을 알 수 있었다. 그래서 난류일 경우를 가정하여 레이놀드수가 최소 2,500 일 경우와 10,000 일 경우를 분석하여 냉각시간에 미치는 영향도 분석하였다. Fig. 10 과 같이 냉각시간에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 나타나 치명인자에서 제외하였다.

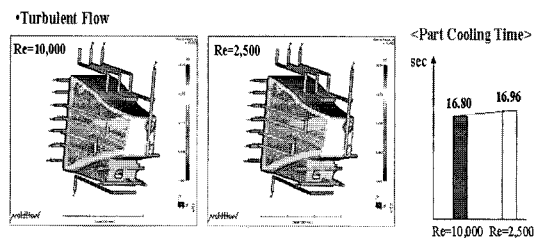


Fig.10 Coolant velocity vs cooling time

성형온도, 즉, 수지주입온도 상하한치를 기준으로 냉각시간에 미치는 영향을 평가하였는데, Fig. 11에서처럼 온도가 높을수록 냉각시간이 길어지는 관계를 확인할 수 있어 치명인자로 선정하였다.

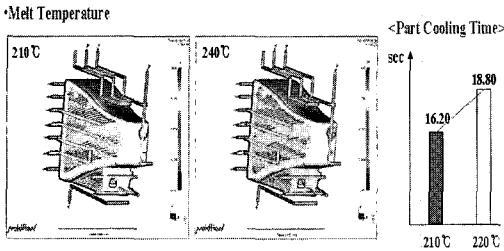


Fig.11 Melt temperature vs cooling time

마지막으로 Fig. 12는 재료자체의 열 확산계수의 영향을 평가하였다. 열확산계수가 클수록 냉각에는 유리한 것으로 나타나 치명인자로 선정하였다.

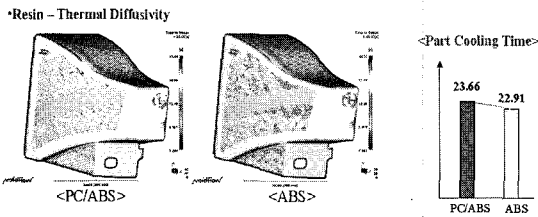


Fig.12 Analysis of thermal diffusivity

이와 같은 과정을 통해 본 연구에서는 신제품 특성에 맞도록 초기 Process mapping 를 통하여 선정된 15가지의 가인자중 6개의 치명인자를 선정하였다. 제품두께(Main thickness, mm), hot spot 의 유무(Thickness, mm), 냉각라인 구성(Cooling channel layout, mm), 냉각라인 직경(Cooling circuit's diameter, mm), 냉각수 온도(Inlet temperature on coolant, °C), 성형 수지 온도(Melt temperature, °C)를 냉각시간 최소화를 위한 시험인자로 최종 결정하였다.

2.4 개선 (Improvement)

선정된 치명인자들을 기준으로 신제품에서 사이클타임을 최소화하기 위한 실험계획을 수립하였다. 먼저 각 인자별 수준을 결정하였고 실험횟수를 최소화 하기 위하여 각 인자별 2수준으로 결정하고, 기존 설계안을 기준으로 냉각시간과 비용을 줄일 수 있는 방안으로 수준을 선정하였다.

Table 2 는 각 인자별 선정된 수준을 나타냈다.

실험계획을 수립하기 위하여 다구찌기법을 이용한 6 인자 2 수준의 실험방법을 결정하고, L12 (2x6)의 직교좌표계를 사용하여 시험을 배치하였다. 6인자 2수준을 시험하기 위해서는 다구찌기법에서도 L8, L12, L16, L32 등의 4가지 방법을 제안하고 있지만, 인자간 교호작용이 없다고 가정하고 L12를 사용하기로 결정 하였다.

Table 2 Final selection of design variables and levels

No.	Factor	Current Design	Level	
			1	2
1	Main thickness (mm)	2.5	2.3	2.1
2	Thickness of hot spot (mm)	3.3	2.8	2.3
3	Type of cooling channel design	old	old	New (1 line added)
4	Diameter of cooling channel (mm)	10	10	12
5	Coolant inlet temp. (°C)	40	20	30
6	Melt temp. (°C)	220	220	210

Table 3 에 L12 직교좌표계를 이용한 실험계획을 도시하였다.

실험은 상용 사출성형 해석 프로그램인 MOLD-FLOW를 사용하였고, 시험에 사용된 해석용 입력 인자는 치명인자를 제외하고는 모두 같게 설정하였다. 예를 들면, 금형온도, 환경온도, 주위압력, 냉각수 속도 등을 고정하고 치명인자만 실험계획에 의하여 변경시켜 시험을 실시하였다.

목적함수를 냉각시간(part cooling time, sec)에 두고 각 시험 case 별 실험을 실시하고, 그 결과를 Table 3 에 도시하였다.

연구결과 제품의 두께는 충전시 유동균형을 이룰 수 있으면서도 얇아야 하고, 제품에 불균일 냉각이 발생하는 hot spot 이 없는 것이 유리하다. 또한, 게이트는 hot runner 를 사용, 냉각라인 설계시에는 게이트 부분에는 필히 냉각회로를 설치, 냉각수의 입수온도는 낮아야 한다. 수지온도도 낮으며 재료는 PC/ ABS 보다는 ABS 가 유리한 것으로

분석되었으나, 냉각라인의 직경 크기는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 이와 같은 분석은 통계용 상용 소프트웨어인 미니탭(Minitab)을 활용하였으며 망소특성에 의하여 S/N비를 이용하여 실험결과를 분석하고 Fig. 13에 나타내었다.

Table 3 Parametric design of DOE

Case	1*	2*	3*	4*	5*	6*	**Cooling time (sec)
1	1	1	1	1	1	1	19.26
2	1	1	1	1	1	2	18.40
3	1	1	2	2	2	1	20.43
4	1	2	1	2	2	1	13.43
5	1	2	2	1	2	2	12.62
6	1	2	2	2	1	2	11.12
7	2	1	2	2	1	1	18.51
8	2	1	2	1	2	2	19.20
9	2	1	1	2	2	2	20.33
10	2	2	2	1	1	1	11.30
11	2	2	1	2	1	2	11.06
12	2	2	1	1	2	1	13.05
old	2.5	3.3	1	10	40	220	23.95

- *Numbers are the same as in Table 2
- 1-12; hot runner, old; cold runner
- **Cooling time does not include ejection time

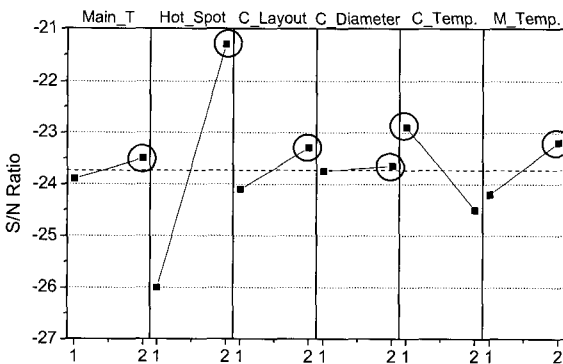


Fig.13 Main effects plot for S/N ratio

냉각시간에 가장 민감한 인자는 Fig. 14 와 같이 hot spot 유무, 냉매온도, 수지온도 순으로 나타났고, hot spot 관련된 인자에서 약 70% 이상의 민감도를 보여주고 있음을 알 수 있었다.

따라서 Fig. 15 에 인자별 최적수준을 적용한 후

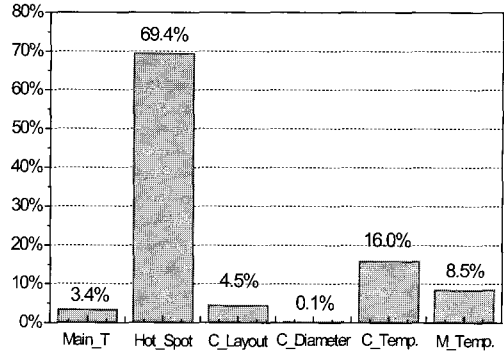


Fig.14 Sensitivity analysis for S/N Ratio

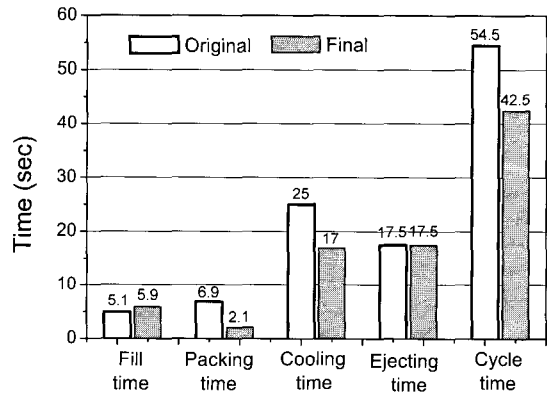


Fig.15 Comparison of cycle time original with final model

의 사이클 타임의 변화를 나타낸 것이다. 각 인자에 사용된 최적인자로는 냉각수 온도를 제외한 모든 인자에서 2 수준을 선정하였다. 즉 제품의 두께는 기존 2.5mm 에서 2.1mm 로 감소시키고, hot spot 을 발생시키는 로고부분의 전체 살두께를 가장 두꺼운 부분이 기존에 3.3mm 에서 2.3mm 로 변경하고, 냉각라인을 게이트 위치에 추가시키고, 냉각라인의 직경을 10mm 에서 12mm 로 증가시킨 것이다. 또 냉각수 온도는 지하수를 바로 사용할 수 있도록 하여 20℃로 선정하였으며, 수지온도는 hot runner 를 사용하면서 노즐 선단의 온도가 210℃가 되도록 설정하였다.

위와 같이 선정된 최적수준을 기준으로 재실험을 실시한 결과 예상이득과 실제 이득차가 S/N 비를 기준으로 1.6%가 나타나 재현성을 확인할 수 있었다.

이때 냉각시간은 초기모델에 비하여 약 54% 단축됨을 알 수 있었다. 초기모델의 경우 냉각시간

이 25sec 였지만, 최적안을 적용하면 이론상 11.04 sec 가 도출됨을 알 수 있었다. 그러나, 본 실험에서 사용한 사출기 계량시간이 16sec 이므로 실제로는 11.04 sec를 적용할 수 없고, 안전율을 고려하여 17 sec 이상으로 조정하였다.

이론적인 사이클타임 단축 효과를 분석해 보면, 기존의 54.5 sec 에서 37.54 sec 로 단축되어 약 31% 단축 효과를 얻을 수 있을 것으로 분석되었다. 즉 게이트가 hot runner 로 변경되면서 충전, 보압시간이 12sec 에서 8sec 로, 냉각시간이 25sec 에서 11.04 sec 로 단축됨을 알 수 있다.

2.5 관리(Control)

위에서 선정된 최적조건과 설계안을 기준으로 시험을 실시하고 효과를 분석하여 실제로 효과가 탁월하면 설계표준 및 생산의 표준으로 설정하여 관리하여야 한다.

사이클 타임의 경우 Fig. 15 에 나타난 것 같이 충전과 보압시간을 12sec 에서 8sec로, 냉각시간을 25sec 에서 17sec 로 단축시키는 효과를 얻었다. 즉, 전체적으로는 54.5sec 에서 42.5sec 로 줄어 12sec 를 단축시킨 것이다.

신제품에 이 조건들을 실제 적용하여 실험을 하였더니 사이클 타임을 22% 단축시킨 효과와 설계 변경에 따른 추가적인 불량률 감소 효과의 결과로 사출생산성을 약 33% 향상할 수 있었다. 이는 기존의 하루 생산량을 1,265 개에서 1,683 개로 증가되었음을 의미한다.

결과적으로 6 시그마 프로세스와 다구찌 기법을 적용한 본 연구를 통하여 목적인 성형 사이클 타임을 획기적으로 단축하였고, 사이클 타임에 영향을 미치는 인자들을 정리하고 기여도를 분석함으로써 원가 경쟁력을 높이는 좋은 사례가 되었다.

3. 결론

본 연구에서 사출성형 사이클타임(Cycle Time)을 단축하기 위하여, 6 시그마 프로세스를 이용한 모니터 하우징(Monitor Bcakcover)을 대상으로 설계인자별 기여도를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

사이클 타임 단축에 영향을 미치는 치명인자는 제품설계 부분에서는 제품의 기본 살두께, 국부적

인 두께차이, 금형설계 측면에서는 냉각회로 구성 게이트의 종류이고, 성형조건 측면에서는 냉각수 주입온도, 성형온도이다.

제품영역에서 균일한 두께를 유지하는 것이 유리하며 국부적인 살두께 차이는 냉각시 hot spot 을 발생시키고, 이로 말미암아 냉각시간이 크게 증가한다. 반면, 지나치게 얇은 살두께는 성형시 고온/고압의 원인이 되고, 전단열 증가에 의하여 냉각시간이 증가한다. 두께가 증가할수록 제품의 냉각시간은 비례한다.

Hot runner 가 cold runner 보다 사이클 타임 단축에 유리하다. 제품영역에서는 냉각시간에 미치는 영향은 없는 것으로 판명되었지만, cold runner 의 경우 다이렉트 게이트 특성상 게이트 자체를 냉각시키는 시간이 hot runner 비하여 약 5sec 정도 더 소요된다. 냉각효율을 높이기 위해서는 게이트 부분에 냉각회로를 필히 설치하여야 한다.

사이클 타임에 영향을 많이 주는 인자는 “국부적인 살두께 차이-냉각수 주입온도-성형온도-냉각회로 구성” 순이며 냉각수 속도는 난류가 형성되면 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

이러한 연구결과를 특수한 예이지만 새로 개발되는 제품에 적용시켜 사출성형 생산성을 33% 향상시킬 수 있다는 것을 실제로 증명해 보임으로써 본 연구에 사용한 6 시그마 프로세스와 다구찌 기법, 수치해석 등이 문제해결에 매우 중요한 도구가 될 수 있다는 사실을 보였다.

참고 문헌

- [1] Moldflow Plastic Insight 3.1 Manual, Moldflow.
- [2] 박성현외 2 인, 2001, 6 시그마 설계를 위한 DFFS, 한국표준협회.
- [3] 염봉진외 2 인, 2001, 실험계획 및 분석:다구찌 방법과 직교표 활용, KAIST.
- [4] 김주권, 2003, Monitor Molding innovation2020 project 완료보고서, LG 전자.
- [5] 박성진외 4, 2001, 사출성형 CAE 설계지침, 문운당.
- [6] M. J. Harry, 1998, 6 Sigma productivity analysis and produce, Motorola univ. press.
- [7] G. Taguchi, 1994, Taguchi methods, Amer supplier inst.