

## Monitor backcover 의 사출시간 단축에 관한 연구

김주권\* · 김종선\*\* · 윤경환\*\*\*

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

J. K. Kim, J. S. Kim and K. H. Yoon

#### Abstract

The present study used a diagrammatic analysis of 6 sigma quality control and Taguchi method for injection molding process of monitor back-cover, evaluated the influence on the cycle time with part design, mold design, molding process and standardization activity involving design & molding, adopted analysis of sensitivity and effective factors of the part design and molding process conditions for productivity, identified main design molding factors, as critical ones influencing on the quality and productivity, of which is summarized as design guidance. The main contribution factors for cycle time can be sequentially enumerated as follows; hot spot, part thickness, coolant inlet temperature, melt temperature – cooling line layout, etc.. As a first step critical factors of the design process of current monitor housing were investigated. And the optimal and better critical factors found in the first step were applied to a new product proving our process was correct. Moldflow software was used for injection molding simulation, and Minitab software for the statistical analysis. Finally, the productivity was increased by about 33 percents for our specific case.

**Key Words** : Injection Molding(사출성형), Cycle Time(사출시간), Taguchi Method, Computer-Aided Engineering

#### 1. 서론

플라스틱은 사용량이 날로 급증하여 범용재료 뿐 아니라 고기능성 재료까지 개발되고 있다. 플라스틱 사용량의 많은부분이 사출성형법에 의하여 쓰여지고 있어 사출성형법을 이용한 높은 정밀도와 생산성 향상을 위한 연구가 기업체와 학교에서 수행되고 있지만 높은 투자비와 전문인력 부족으로 애로를 거듭하고 있는 실정이다. 과거 대부분의 사출성형은 과학적이고 체계적인 이해

부족으로 생산현장에서 얻어진 경험과 시행착오적인 방법에 의하여 품질개선 활동을 추진하여 왔으며 이에 다양한 고분자 재료의 성질과 복잡해진 금형구조, 지능화된 사출성형기등에서는 어려움을 겪어 왔다. 특히 오늘날 급증하고 있는 고도의 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

\* LG전자 생산기술원

\*\* 단국대학교 대학원 기계공학과

\*\*\* 단국대학교 기계공학과

(Moldflow)사를 비롯한 상용업체와 학교에서 수치 해석 기법을 개발하고 많이 사용하고 있어 원가 절감 및 효율성 측면에서 날로 부각되고 있다.

그래서 본 논문은 브라운관 모니터의 원가 경쟁력 확보를 위하여 모니터 하우징(Monitor back-cover)에 6 시그마 품질활동을 이용한 수치해석과 다구찌 기법을 적용하여 사출성형 공정의 전체 공정 중 60~70%의 시간 비율을 차지하는 냉각과정에 영향을 미치는 각 인자별 민감도와 기여도를 분석한 후, 품질향상과 동시에 사출생산성을 향상시키고, 그 결과를 주요 설계/성형 인자들로 정의하고 품질과 생산성에 영향을 미치는 치명인자로 선정하여 관리하고, 특히, 사이클타임을 단축시킬 수 있는 설계지침을 제시 하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 정의 ( Definition )

연구대상은 15 인치용 모니터 하우징(Backover)으로 기존 제품의 두께는 2.5 mm 이고, 성형재료는 LG 화학(주)에서 생산하는 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)이다. 제품을 생산하기 위한 장치로는 LG 전선(주)의 850 톤 사출기를 사용하였다.

연구 프로세스는 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 찾았다. 이 개선점을 신규로 개발하는 제품에 적용하기 위한 실험계획을 수립하고 적용한 후, 효과를 분석하는 방법으로 추진하였다.

따라서 본 연구에서는 사이클 타임을 단축하고 불량률을 최소화하여 궁극적으로 생산성 향상을 목적으로 한다.

### 2.2 측정 ( Measurement )

기존 부품의 사출공정상 소요되는 사이클 타임은 54.5 sec 로 충전시간이 5.1 sec, 보압시간이 6.9 sec, 냉각시간이 25 sec, 취출시간이 17.5 sec 였다. 또, 품질수준은 42,200ppm 으로 3.23 σ 수준이었다.

### 2.3 분석 ( Analysis )

사이클 타임에 미치는 치명인자를 도출하기 위하여, 먼저 프로세스 맵핑(Process mapping) 기법을

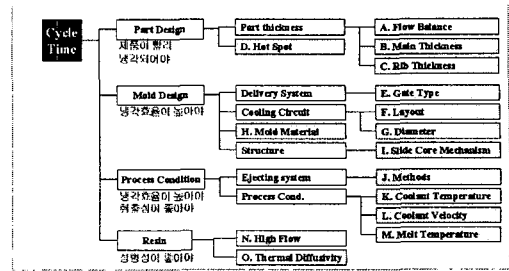


Fig. 1 Logic tree for reduction of cycle time

사용하고, 개선이 가능한 인자를 기준으로 하여 목적함수에 영향을 미치는 인자들을 분석대상과 범위에 따라 분류를 하여 Fig. 1 에 도시하였다. 이때 인자가 중복되지 않도록 그룹핑하였다.

본 연구에서는 목적함수인 사이클 타임에 영향을 미치는 인자를 이용하여 식(1)과 같은 목적함수에 어떠한 영향을 미치는지를 검증하고 상관관계를 분석하게 된다. 분석기법은 MOLDFLOW 를 이용한 수치해석을 사용하였고, 평가기준은 제품이 사출후 냉각(고화)되는 시간으로 하였다.

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

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

먼저, 제품설계 인자인 제품의 기본 두께와 회사의 로고가 들어가는 부분에 국부적으로 불균일한 부분(Hot spot)을 분석하여 보면 냉각시간에 영향을 줌으로써 치명인자로 선정하였다.

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

다음은 주입기구인 게이트 종류에 따른 영향을 평가하였는데, hot runner 가 cold runner 에 비하여 성형품 고화시간이 약 8 sec 이상 적었다. 그래서, 실험을 위한 인자에서는 제외하고 hot runner 를 적용하기로 결정하였다.

또한 냉각회로 구성이 냉각시간에 미치는 영향을 분석해 보면 냉각라인의 직경을 증가시킬수록, 또, 냉매의 온도를 낮출수록 냉각시간이 감소하는 경향을 보였다. 다음으로 냉각수 속도는 대

부분 난류상태로 냉각시간에 미치는 영향이 크지 않는 것으로 나타나 치명인자에서 제외하였다.

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

마지막으로 재료자체의 열 확산계수의 영향을 평가하였다. 열확산계수가 클수록 냉각에는 유리한 것으로 나타나 치명인자로 선정하였다. 그러나 본 연구에서는 신제품 특성에 맞도록 열확산계수가 크면서 다른 성질(유동성, 강성)을 만족하는 재료가 새로이 개발되지 못하여 실험계획에서는 제외하였다.

이와 같은 연구를 통하여 초기 Process mapping를 통하여 선정된 15 가지의 가인자를 이용하여 6 가지 치명인자를 선정하였는데, 이는 제품두께(Main thickness, mm), hot spot 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 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 1 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 1 에 L12 직교좌표계를 이용한 실험계획을 도시하였다.

망소특성에 의하여 SN비를 이용하여 실험결과를 분석하고 Fig. 2 에 나타내었다.

냉각시간에 가장 민감한 인자는 Fig. 3 과 같이 hot spot 유무, 냉매온도, 성형온도 순으로 나타났고, 제품 두께와 관련된 인자에서 약 70% 이상의

Table 1 Design variables and levels

No	Factors	Original Design	Levels	
			1	2
1	B. Main Thickness(mm)	2.5	2.1	2.3
2	D. Hot Spot Thickness(mm)	3.3	3.3	2.3
3	F. Cooling Circuit Layout	Original Model	Original Model	Adding 1 Line
4	G. Cooling Circuit Diameter(mm)	10	10	12
5	K. Coolant Temperature(°C)	40	20	30
6	M. Melt Temperature(°C)	220	220	210

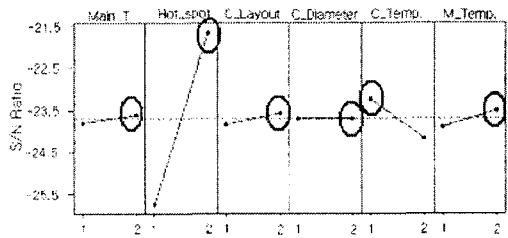


Fig. 2 Main effects plot for S/N ratio

민감도를 보여주고 있음을 알 수 있었다.

따라서 Table 1 에 인자별 최적수준은 냉각수 온도를 제외한 모든 인자에서 2 수준을 선정하였다. 위와 같이 선정된 최적수준을 기준으로 재실험을 실시한 결과 예상이득과 실제 이득차가 SN비를 기준으로 1.6%가 나타나 재현성을 확인할 수 있었다.

이때 냉각시간은 초기모델에 비하여 약 54% 단축됨을 알 수 있었다. 초기모델의 경우 냉각시간이 23.95 sec 였지만, 최적안을 적용하면 이론상 11.04 sec 가 도출됨을 알 수 있었다. 그러나 사출기 계량시간이 16 sec 이므로 실제로는 11.04 sec 를 적용할 수 없고, 안전율을 고려하여 17 sec 이상으로 조정하여야 한다.

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,

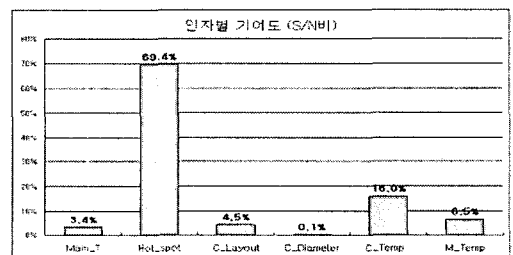


Fig. 3 Sensitivity analysis for S/N Ratio

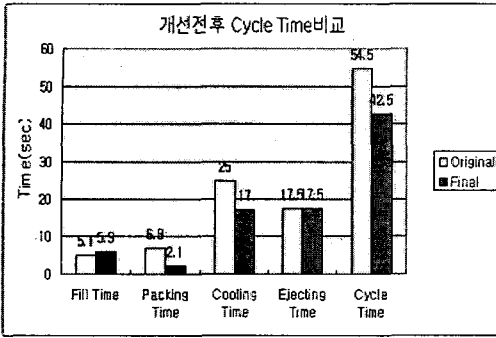


Fig. 4 Compare cycle time original with final model

보압시간이 12 sec 에서 9 sec 로, 냉각시간이 25 sec 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.

우선 실제 적용결과를 분석하면 사이클 타임 22% 단축과 불량률 86% 개선으로 사출생산성을 약 33% 향상할 수 있었다. 이는 기존의 하루 생산량을 1,265 개에서 1,683 개로 증가되었음을 의미한다. 사이클 타임의 경우 Fig. 4 에 나타난 것 같이 충전과 보압시간을 12 sec 에서 8 sec로, 냉각시간을 25 sec에서 17 sec로 단축시키는 효과를 얻었다. 즉, 전체적으로는 54.5 sec 에서 42.5 sec 로 줄어 12 sec 를 단축시킨 것이다.

### 3. 결론

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

사이클 타임 단축에 영향을 미치는 치명인자는 다음과 같다.

제품설계 부분에서는 제품의 두께차이, 기본

살두께이고, 금형설계 측면에서는 냉각회로 구성, Gate 종류이고, 성형조건 측면에서는 냉각수 주입 온도, 성형온도이다.

제품영역에서 균일한 두께를 유지하는 것이 유리하다. 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 5 sec 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” 순이다. 또, 냉각수 속도는 난류가 형성되면 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

연구결과를 새로이 개발되는 제품에 적용시켜 사출성형 생산성을 33% 향상하였을 뿐만 아니라, 본 연구에 사용한 6 시그마 프로세스와 다구찌 기법, 수치해석등이 문제해결에 매우 중요한 도구임이 입증되었다.

### 참고 문헌

- (1) Moldflow Plastic Insight 3.1 Manual, Moldflow, 2002
- (2) 6 시그마 설계를 위한 DFFS, 한국표준협회, 박성현외 2인, 2001.
- (3) 실험계획 및 분석:다구찌방법과 직교표 활용, KAIST, 염봉진외 4인, 2001.
- (4) Monitor Molding innovation2020 project 완료보고서, LG 전자,2003
- (5) 사출성형 CAE 설계지침, 박성진외 4, 문운당, 2001.