

## 사출금형 냉각회로의 최적설계자동화에 관한 연구

장형건<sup>1</sup> 정현우<sup>1</sup> 이영주<sup>1</sup> 이병옥<sup>#</sup>

### A Study on automatic optimization of cooling circuit design in injection mold

H. K. Chang, H. W. Jung, Y. J. Lee, B. O. Rhee

#### Abstract

Cooling circuit of injection mold affects part quality and cycle time of injection molding process. Examination on mold cooling circuit is usually omitted in part design stage because cooling circuit is designed in the mold design stage. It is desirable to examine mold cooling circuit with respect to part quality in the part design stage. In order to make the examination process convenient and fast, cooling circuit design should be automated without intervention of skilled designer. In this study, optimization of cooling circuit design is automated with commercial softwares; Visual DOC and Moldflow MPI. Effect of initial value for optimization is examined for the optimization result.

**Key Words** : Injection molding, Cooling circuit, Automatic Optimization

#### 1. 서론

사출성형 공정 단계 중 냉각단계는 사출성형과정에서 가장 긴 시간을 차지하며 성형품 품질에 중대한 영향을 준다. 냉각단계에서 가장 중요한 사항은 금형의 균일한 냉각이며 이 점은 제품 설계 단계에서 중요하게 검토하여야 하는 항목이다. 그러나, 현재 금형의 냉각회로 설계가 이루어지는 시점이 제품 설계가 끝나고 금형설계가 이루어진 이후 시점으로서 제품 설계 단계에서 금형의 냉각에 대해 종합적인 검토가 이루어지기 어려운 상황이다.

금형제작이 이루어지기 이전 제품설계 단계에서 최적화된 금형의 냉각회로를 생성하고 검토함으로써 궁극적으로 제품 품질의 향상을 도모할 필요가 있다 [1]. 이를 위해서는 설계단계에서 금형설계 숙련자의 큰 도움이 없어도 손쉽게 금형의 냉각회로를 최적화하고 자동적으로 최적화된 냉각회로를 생성할 수 있는 도구가 필요하다.

제품의 품질을 극대화하기 위하여 다양한 해석과 최적화[2-4]가 이루어지고 있으나 제품의 금형 냉각회로에 대한 검증은 아직 제대로 이루어지고 있지 않은 실정이다. 또한 냉각회로를 설계하는데 있어서 금형 개발업체 별로 큰 편차가 발생한다. 제품의 품질을 고려한 냉각회로 설계 최적화를 통하여 냉각회로 설계의 기준을 제시하는 것이 바람직하다.

금형설계 단계에서 금형 개발업체는 금형제작의 용이성을 위해 기구설계와 구조설계가 냉각회로 설계보다 우선하고 있음으로써 최종 목적인 성형품 품질이 금형제작의 용이성보다 우선순위가 낮아지는 결과를 초래하고 있다. 본 연구는 성형품 품질 향상을 위하여 금형제작 이전 단계에서 냉각최적화를 함으로써 냉각시간 단축과 제품의 균일한 냉각을 목적으로 설정하였다. 냉각시간의 단축은 제품의 생산성 향상 문제와 직결된다는 것 또한 유의하여야 한다.

1. 아주대학교 기계공학부

# 교신저자: 아주대학교 기계공학부

E-mail: rhex@ajou.ac.kr

## 2. 본론

### 2.1 냉각회로 최적화 체계

본 연구에서는 냉각회로 최적화를 완전 자동화하는 방안을 제시하였다. 자동화를 위한 중심에는 최적설계용 프로그램인 Visual DOC 6.0과 동 프로그램에서 제공하는 스크립트 언어를 사용하였고, 최적화 전략과 냉각회로 생성을 수행하기 위해서는 Microsoft Visual Basic 6.0을 사용하여 자체 제작한 프로그램을 사용하였다. 금형의 냉각해석을 위해서는 몰드플로우사의 MPI 6.0을 사용하였다.

자체 제작한 최적화 전략과 냉각회로 생성을 담당한 프로그램에서는 MPI를 사용자 구동방식으로 사용하지 않고 Background 방식으로 API를 이용하여 접근하는 방식을 사용하였다. 냉각해석을 위한 제품 모델로서 Mid-plane 모델을 사용하였다. Visual DOC 에서 최적설계를 수행하는 알고리즘으로서 Gradient Method를 사용하였다.

### 2.2 냉각회로 최적화 방안

냉각 최적화를 위한 설계 변수로는 냉각관 간격, 배플관 간격, 배플관 깊이 총 3개이다. Fig. 1은 설계 변수를 정의한 그림이다. 냉각관 간격(Channel Distance)은 냉각관 사이의 거리를 의미하며, 배플관 간격(Baffle DiStance) 역시 냉각관 간격과 유사하게 배플관 사이의 거리를 의미한다. 배플관 깊이(Baffle DePth)는 제품으로부터 떨어진 배플관의 끝부분 위치를 의미한다.

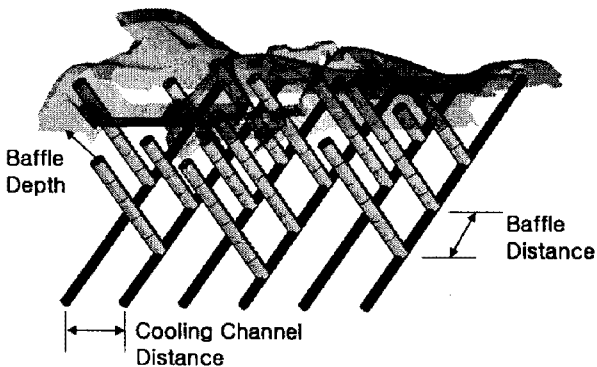


Fig. 1. Definition of the design Variable

최적화를 위한 초기값으로서 냉각관 및 배플관을 등간격으로 설치하고 배플관은 제품표면으로 일정한 거리를 유지하여 설치하는 방법론을 채택하였다. 냉각관의 상하 위치는 제품 표면에서 일

정거리 떨어진 금형의 위치를 선정하여 동일한 평면에 놓이도록 하였다. 각 설계변수의 범위는 일반적으로 냉각회로 설계에서 사용하고 있는 범위를 채택하였다. 설계변수의 범위는 Table 1에 제시하였다. 냉각해석을 위한 공정 조건은 Table 2에 제시한 바와 같으며 재료는 GS Caltex에서 공급하는 폴리프로필렌을 사용하였다.

Table 1. Range of design variables

| Variable | Lower bound | Upper bound |
|----------|-------------|-------------|
| C.DS     | 60 mm       | 120 mm      |
| B.DS     | 60 mm       | 100 mm      |
| B.DP     | 20 mm       | 60 mm       |

Table 2. Processing condition for cooling analysis

| Control Factor | Unit  | Material      |
|----------------|-------|---------------|
|                |       | PP(GS Caltex) |
| Mold temp.     | (°C)  | 33            |
| Melt temp.     | (°C)  | 215           |
| Ejection temp  | (°C)  | 121           |
| Mold-open time | (sec) | 5             |

최적화를 위한 목적함수로는 제품의 평균온도의 표준편차를 최소화하도록 하였다. 제품의 평균온도는 금형 상하면의 평균온도로 계산하였으며 MPI 6.0 결과에서 각각의 Element 의 온도의 표준편차를 계산하였다. 제품 온도의 표준편차는 제품의 균일한 냉각을 확인할 수 있는 지표로써, 표준편차가 작다는 것은 그만큼 평균온도를 중심으로 온도분포가 밀집되어있다는 것을 의미한다.

냉각관의 직경과 배플관의 직경 선정은 금형가공의 실제 자료를 바탕으로 금형 크기에 따라 각각 20 mm, 30 mm로 선정하였다.

### 2.3 초기값 설정에 따른 최적화 방안

본 연구에서는 최적화를 위한 초기값이 최적화 결과에 대한 영향을 조사하기 위해 2가지 초기값을 선정하여 최적화를 진행하였다. 초기값은 임의로 선정하였다. 이는 Visual DOC 내부의 최적화 알고리즘의 정확한 이론적 배경과 주의사항을 사용자로서는 알지 못하기 때문에 최적설계 프로그램의 성능에 대한 검토를 위한 이루어졌다. Table 3은 최적화를 위한 다른 2가지의 초기값 설정을 나타내었다.

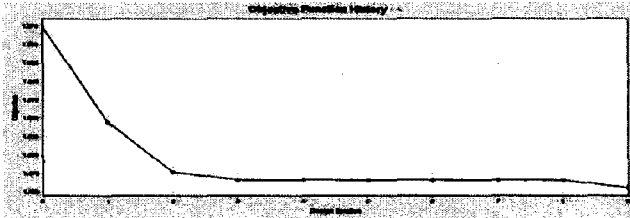
**Table 3. Initial values for optimization**

|                  | Variable | Initial Value |
|------------------|----------|---------------|
| Optimization # 1 | C.DS     | 80            |
|                  | B.DS     | 60            |
|                  | B.DP     | 30            |
| Optimization # 2 | C.DS     | 60            |
|                  | B.DS     | 100           |
|                  | B.DP     | 55            |

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 최적화 결과

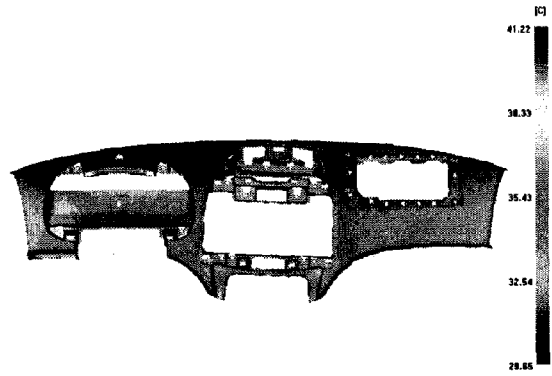
설계변수 변화를 통하여 최적화가 진행되는 상황을 Fig. 2에 나타난 바와 같이 Visual DOC 화면을 통해 확인하였다. Fig. 3, 4는 2가지의 초기값에 의한 수행된 최적화의 결과를 나타낸다.



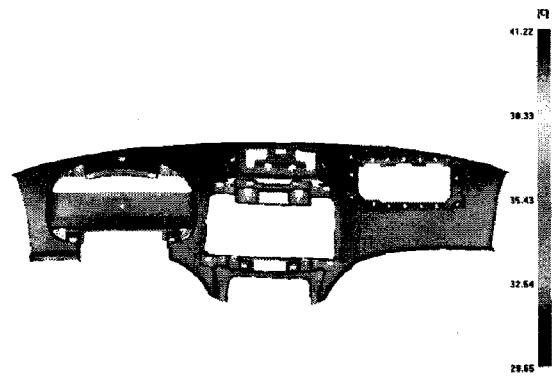
**Fig. 2. Optimization of objective function**

#### 3.2 히스토그램 분석 및 면적 분포를 분석

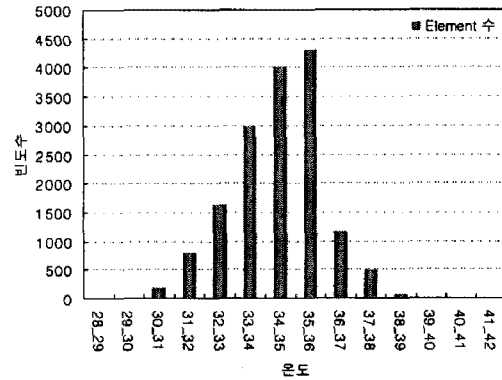
수치적으로 평균온도를 중심으로 얼마만큼 온도가 밀집되어 있는지 확인하기 위한 방법으로 최적화된 해석 결과를 바탕으로 온도별 히스토그램을 분석해 보았다. 제품의 평균온도는 약 34℃ 정도이며, 이를 기준으로 히스토그램을 분석해 본 결과, 평균온도 중심으로 정규분포를 따르는 것을 확인할 수 있었다. Table 4에서도 확인할 수 있듯이 #1 최적화의 경우 표준편차 3 배수 내의 온도를 보이는 면적이 초기값으로서의 냉각회로에서 얻을 수 있는 면적보다 최적화를 수행한 후에 증가한 것을 확인할 수 있었다. 그러나, #2 c 최적화의 경우 초기값에 비해 크게 개선된 효과를 확인할 수 없었다. 이렇게 초기값의 선택에 따른 결과의 차이는 최적화 알고리즘으로서 Gradient Method 를 사용한 결과라고 판단된다.



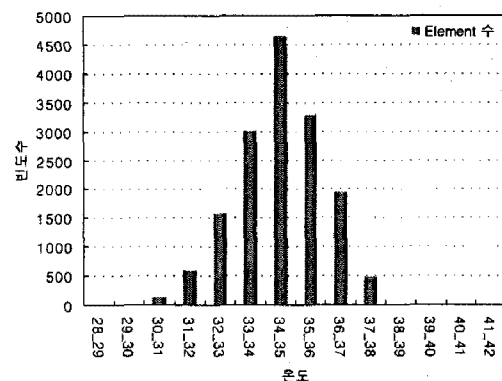
**Fig. 3. Temperature distribution from optimization #1**



**Fig. 4. Temperature distribution from optimization #2**



**Fig. 5. Temperature histogram of optimization # 1**



**Fig. 6. Temperature histogram of the optimization # 2**

**Table 4. Comparison of optimizations with different initial values**

|                  |                           | Standard deviation | Area percentage (%) |
|------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|
| Optimization # 1 | Initial Cooling Circuit   | $\pm\sigma$        | 72.37               |
|                  |                           | $\pm 2\sigma$      | 94.49               |
|                  |                           | $\pm 3\sigma$      | 99.32               |
|                  |                           | Over $\pm 3\sigma$ | 0.68                |
|                  | Optimized Cooling Circuit | $\pm\sigma$        | 70.53               |
|                  |                           | $\pm 2\sigma$      | 95.02               |
|                  |                           | $\pm 3\sigma$      | 99.89               |
|                  |                           | Over $\pm 3\sigma$ | 0.11                |
| Optimization # 2 | Initial Cooling Circuit   | $\pm\sigma$        | 66.50               |
|                  |                           | $\pm 2\sigma$      | 96.53               |
|                  |                           | $\pm 3\sigma$      | 99.93               |
|                  |                           | Over $\pm 3\sigma$ | 0.07                |
|                  | Optimized Cooling Circuit | $\pm\sigma$        | 66.89               |
|                  |                           | $\pm 2\sigma$      | 95.22               |
|                  |                           | $\pm 3\sigma$      | 99.87               |
|                  |                           | Over $\pm 3\sigma$ | 0.13                |

#### 4. 결론

본 연구에서는 대형사출금형을 대상으로 최적화된 냉각회로를 자동으로 생성하기 위해 몰드플로우와 VisualDOC를 연계하여 자동최적화를 수행하였다. 자동최적화를 수행한 결과, 짧은 시간 내에 최적화된 냉각회로를 만족스러운 수준으로 생성할 수 있었다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

(1) 최적설계용 프로그램인 Visual DOC와 Moldflow MPI를 연계하여 설계자의 간섭이 필요 없이 자동으로 최적화된 냉각회로를 생성할 수 있었다. 이와 같은 최적화된 냉각회로를 얻기 위해 설계자의 경험에 의존하는 경우 많은 시간과 노력이 소요될 것으로 판단한다.

(2) 냉각관 간격, 배플관 간격, 배플관 깊이를 설계변수로 선정하여 최적설계를 수행한 결과 제품 평균온도의 3배수 표준편차가 4.3도인 우수한 냉각회로를 얻을 수 있었다.

(3) 본 연구에서 실행한 최적화에서 초기값의 선정이 최종 결과에 영향을 주는 것을 확인하였다. 이것은 최적화를 위한 알고리즘으로서 Gradient Method를 선정하여 발생할 수 있는 문제점으로 지적된다. 향후 지속된 연구를 통해 안정된 최적화를 달성할 수 있도록 다양한 최적화 알고리즘을 개발하여야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 박영준, 전용, 박천수, 2006, 플라스틱 부품 개발 단계에서의 사출성형 CAE 활용, 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1980~1985
- [2] Jian Zhou and Lih-Sheng Turng, 2007, Process optimization of injection molding by integrating numerical simulation with surrogate modeling approaches, SPE ANTEC 2007, pp. 1631~1635
- [3] 박성진, 권태현, 1995, 사출금형의 냉각장치 최적설계 및 공정조건의 최적화, 대한기계학회 추계학술대회논문집(I), pp. 980~984
- [4] 최원준, 2000, 유전알고리즘을 이용한 사출성형 공정조건 최적화에 관한 연구, 서울대학교, 공학박사 학위 논문