

# 사출금형 냉각시스템 최적화를 위한 설계변수의 감소 방법 연구

최재혁<sup>1</sup>, 태준성<sup>1</sup>, 이병옥<sup>2, #</sup>

## A study on the reduction of design variables for injection mold cooling system optimization

J. H. Choi, J. S. Tae and B. O. Rhee

### Abstract

The cooling system optimization for injection molds was studied with a response surface method in the previous research. It took so much time to find an optimum solution for a large product due to an extensive amount of calculation time for the CAE analysis. In order to use the optimization technique in the actual design process, the calculation time should be much reduced. In this study, we tried to reduce the number of design variables with the concept of the close relationship between the depth and the distance of cooling channels. The optimum ratio of the distance to the depth of cooling channels for a 2-dimensional problem was 2.0 so that the optimum ratio was again sought out for 4 industrial products. The major cooling effect of the injection molds for large products rely on baffle tubes. The optimum ratio of the distance to the depth for baffle tubes was 2.0 for the large products. The result enables us to reduce the number of the design variables by half in the cooling system optimization problem.

**Key Words** : Injection Molding, Baffle tube, Cooling Channel, Optimization, CAE

### 1. 서론

사출성형에 있어서 냉각단계는 성형제품의 품질에 많은 영향을 미친다. 또한 이 냉각단계는 사출성형의 충전/보압/냉각 3 단계 중 가장 많은 시간을 차지하므로 이 냉각단계에서 일어나는 현상을 어떻게 조절하느냐에 따라서 사출성형공정 전체가 영향을 받는다고 해도 과언이 아니다.

Liang[1]은 냉각관의 최적화를 위하여 비선형 방정식을 구성하고 그것을 풀었다. 장형건[2]은 Moldflow를 사용하여 대형 제품의 평균온도편차를 자동적으로 최소화 시키는 방안에 대한 연구를 수행하였다. 정현우[3]는 장형건[2]의 연구에 제품 평균온도를 목표하는 온도에 맞추는 방안에 대한 연구를 수행했다.

Liang[1]의 연구에서는 최적화 된 값을 찾았으나

실제의 해석이나 실험으로 나온 자료가 부족하였다. 장형건[2]의 연구와 정현우[3]의 연구에서는 자동적으로 최적화 시키는 방안은 모색하였으나 해석하는데 소요되는 시간이 많이 걸리는 단점이 존재한다. 기존의 연구[2, 3] 모두 냉각 최적화를 진행시키는데 4개의 설계변수를 가지고 진행을 하였으며 반응표면법을 적용하여 총 26회의 해석을 통하여 최적 값을 찾아내었다. 대형 성형품의 경우 한 해석당 1시간씩만 소요가 되어도 26시간 정도의 해석 시간이 소모 되므로 설계도구로 사용하기 위해서는 시간 단축이 필요하다.

본 연구에서는 설계변수를 감소시킴으로써 최적화 해석에 소모되는 시간을 줄이기 위한 방법을 모색했다. 특히 냉각관과 배플관 각각의 간격과 깊이간의 상호 연관성을 조사하여 변수의 개수를 감소시키는 방안을 택하였다.

1. 아주대학교 대학원

2. 아주대학교 기계공학과

# 교신저자: 아주대학교 기계공학과

E-mail: rhex@ajou.ac.kr

## 2. 설계변수 감소의 방안

### 2.1 냉각관 간격과 깊이의 연관성

Liang[1]은 냉각회로의 최적화를 수행하기 위해 5개의 변수를 가지고 비선형 방정식을 구성하여 각종 경계조건으로 해를 구하였다. 냉각관 간격과 깊이는 직경의 2배일 때 냉각효율이 최적화 된다는 해를 도출해 냈는데 이는 냉각관의 간격과 깊이에는 일정한 비율이 존재한다고 볼 수 있다.

Menges[4]도 이와 비슷한 개념을 제시하였다. 냉각관이 흡수하는 일정한 열량이 구해지면 냉각관의 간격과 깊이에는 추천되는 개략적인 범위가 존재한다고 간주하여 그것을 바탕으로 냉각관을 설치하도록 하였다.

이러한 개념을 응용하여 기존 연구[2, 3]의 개선 방안을 잡았다. 기존 연구에서는 설계변수를 4개로 잡았는데 구체적으로는 냉각관의 깊이와 간격, 배플관의 깊이와 간격이 이에 해당한다. 본 연구에서는 깊이와 간격간의 상호 연관성이 존재한다고 보고 냉각관의 깊이에 대한 간격의 비를 채널비, 배플관의 깊이에 대한 간격의 비를 배플비로 정의하여 2개의 변수로 감소시켰다.

이러한 방식의 적용이 제대로 되는지 확인을 하기 위하여 간단한 평판 모델에 대하여 그대로 적용시켜 보았다.

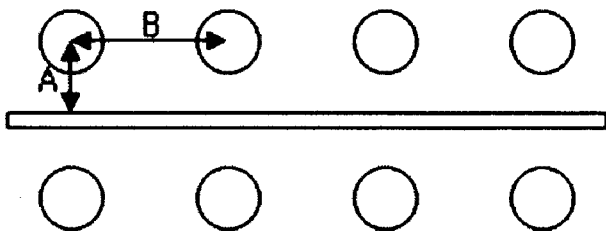


Fig. 1 Simple plane model

냉각관의 상호 간격을 B, 깊이는 A라고 가정한다. 냉각관 직경을 20mm, 25mm, 30mm 의 3가지, 냉각관 깊이와 간격은 직경에 대한 1, 2, 3배씩 하여 총 26회의 해석을 진행하였다. CAE 프로그램은 Moldflow사의 MPI 6.2를 사용하였다.

해석결과 냉각관의 직경에 무관하게 깊이와 간격의 비가 1:2 일 때 온도 편차가 가장 낮고 평균 온도도 가장 낮은 것이 확인 되었기 때문에 깊이와 간격 사이에는 일정한 비율이 존재 한다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 배플관의 경우 위와

같은 테스트를 수행할 수 없었다. 단순한 평판 위에 배플관 설치를 하여도 줄냉각관의 효과가 큰 평판 형상이기 때문에 배플관의 영향도를 평가할 수 없다고 판단했다.

평판을 통한 2차원 냉각해석 실험의 개념을 배플관에도 그대로 적용시키기로 하였다. 배플관 끝점을 냉각을 수행하는 하나의 요소로 본다면 냉각관에서 적용되는 개념이 배플관에도 그대로 적용이 된다고 가정하였다.

### 2.2 CAE를 통한 냉각해석

냉각해석에 앞서서 제품의 최소 냉각시간을 예측하기 위해서 Xanthos[4]의 논문을 참조하였다. Xanthos[4]에서는 성형품의 냉각 시간을 예측하였는데 성형품의 가장 두꺼운 두께를 기준으로 계산을 하였다. 해석에 사용된 제품은 총 4가지였으며 각각의 모델에 대한 계산된 냉각 시간은 다음과 같다. 보안문제상 세부적인 표시를 할 수 없기 때문에 A, B, C, D모델이라고 지칭하겠다.

Table 1. Calculation of cooling time of 4 products

Product	A	B	C	D
Maximum Thickness(mm)	3.5	3.7	2.7	3.2
Cooling Time(s)	48.2	53.5	29.7	40.7



Fig. 2 Example shape of the product tested for the optimization

해석에 사용된 최적화 방식은 반응표면법을 통한 최적화 방식을 택하였으며 반응표면 형상을 위한 측정점 추출을 위해 면중심합성법을 선택하였다. 이것은 기존의 방식과 동일한 방식이며 기존 4개 변수에 3수준일 때는 직교표(Orthogonal Array)의 끝점과 중심점을 이용하여 31회의 해석

을 수행하여야 하는데 직교표에서 중심점이 7개가 중복하여 나타난다. 따라서 6개를 제거하면 25회의 해석을 수행하게 되고 최적화된 값이 예측된 후 해당조건에 대해 마지막 해석을 수행하므로 총 26회의 해석을 수행하였다.

이번 연구에서는 변수를 2개로 감소시켜서 해석을 수행하였으나 변수를 2개로 감소시켜도 3수준은 유지되므로 해석 시에 위와 동일한 직교표(Orthogonal Array)를 이용하여 점을 추출하면 총 13회의 해석을 수행한다. 이 중 중심점이 5개 존재하므로 4개가 중복이 된다. 따라서 4개를 제거하면 9회의 해석을 하게 되고 최적화된 값을 찾아서 마지막으로 해석을 더 수행하므로 총 10회의 해석을 수행하였다.

설계변수의 범위는 채널비와 배플비 동일하게 2, 3, 4로 주었다. 이번 해석에 사용된 냉각관과 배플관의 직경은 30mm로 정했는데 이 직경을 기준으로 삼아서 냉각관과 배플관의 깊이와 간격을 설정하였다. 깊이와 간격을 설치하는데 직경을 기준으로 한 이유는 상대적인 비율만 존재해서는 실제적으로 정확한 치수를 알 수 없고 반드시 비율의 어떠한 기준점이 존재해야 한다. 따라서 일반적인 대형 제품의 금형에서 보편적으로 사용되는 냉각관의 직경 30mm를 기준으로 잡았다.

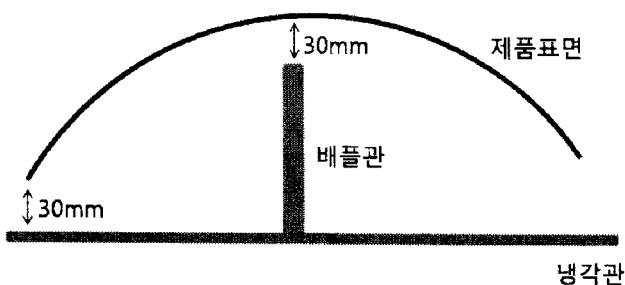


Fig. 3 Schematic of baffle tube and cooling channel layout

채널비와 배플비는 각각 2, 3, 4로 주어지므로 깊이는 30mm로 전부 고정된 상태에서 간격만 60mm, 90mm, 120mm로 변경되면서 해석이 진행되었다.

### 2.3 냉각해석의 결과

4개의 설계변수로 냉각해석을 수행한 결과와 2개의 설계변수로 냉각해석을 수행한 결과를 다음

과 같이 나왔다. CDS는 냉각관의 간격, CDP는 냉각관의 깊이, BDS는 배플관의 간격, BDP는 배플관의 깊이를 나타내며 Dev. 는 온도편차의 평균값을 나타낸다.

Table 2. Result of CAE with 2 variables

	CDS	BDS	CDP	BDP	Dev.
A	66	60	30	30	4.1
B	120	60	30	30	3.7
C	60	60	30	30	5.3
D	60	60	30	30	3.1

Table 3. Result of CAE with 4 variables

	CDS	BDS	CDP	BDP	Dev.
A	90	60	35	30	4.1
B	120	60	30	30	3.7
C	60	80	90	30	5.4
D	81	90	52	30	4.0

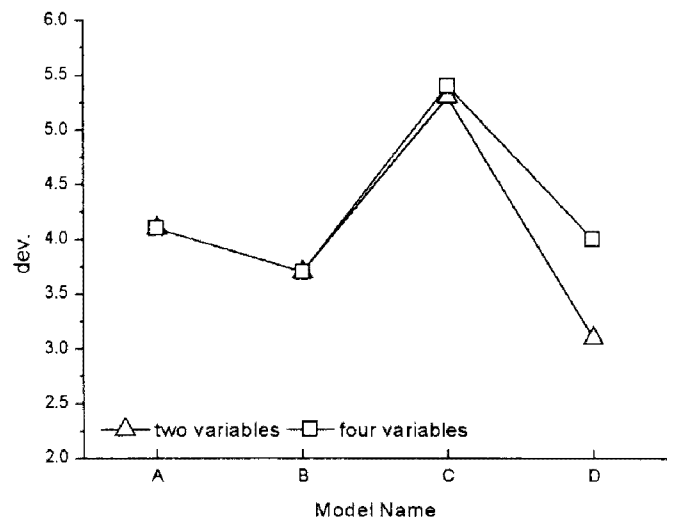


Fig. 4 Comparison of 2 CAE results with 2 and 4 variables

Table 2. 는 2개의 설계변수로 해석을 수행한 결과이다. Table 3. 은 기존연구[2, 3]와 같이 4개의 설계변수로 해석을 수행한 결과이다. 냉각해석에서 주요하게 간주되는 전체적인 온도편차 dev. 가 2개의 설계변수로 해석을 했을 때와 4개의 설계변수로 해석을 했을 때 큰 차이가 나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

2개의 변수로 해석을 하기에 앞서서 평판으로

확인했을 때는 깊이와 간격의 비가 1:2로 나온다고 예측을 했다. 실제적인 3차원 모델에 적용한 결과를 본다면 A는 채널비 2.2, 배플비 2, B는 채널비 4, 배플비 2, C는 채널비 2, 배플비 2, D는 채널비 2, 배플비 2로 전반적으로 깊이와 간격의 비가 1:2 정도로 유지 된다는 것을 확인할 수 있었다.

A, B 모델의 경우 채널비가 2로 유지 되지 않는 경우가 존재하였는데 이는 대형제품의 냉각해석에 있어서 채널비의 영향도가 떨어져서 이러한 결과가 나왔다고 볼 수 있다. 다시 말해서 배플비의 경우 냉각해석의 결과에 대한 영향도가 높아서 깊이와 간격에 대한 비가 1:2로 유지가 되었으나 채널비는 영향도가 낮기 때문에 그 값이 약간씩 변경될 수 있다는 것이다.

실제로 반응표면을 나타내는 방정식을 구하기에 앞서서 Minitab으로 설계변수의 유의성 테스트를 한번 수행하였다. 이것을 P-검증이라고 지칭하는데 P-검증은 설계변수의 결과에 대한 영향도를 분석하여 나온 결과값이 0.05라는 값보다 크게 나오면 이는 일반적으로 유의성이 떨어진다고 판단한다. 채널비라는 설계변수에 대해 P-검증이 A모델은 0.37, B모델은 0.93으로 유의성이 매우 떨어지는 것으로 확인할 수 있다 따라서 채널비의 경우 2의 값이 유지가 되지 않아도 결과에 대한 영향도가 낮을 것이라 판단하고 배플비의 비율이 유지되는 것에 대해 주안점을 두었다.

배플비의 경우 전 모델에 걸쳐서 2라는 값으로 일정하게 유지되는 것을 확인했으므로 평판테스트를 통해서 확인한 결과가 3차원 실제 제품에도 적용될 수 있음을 확인하였다. 또한 냉각효과가 큰 설계변수에 대해서만 깊이와 간격에 대한 비율이 일정하게 유지가 된다는 것 역시 추가적으로 확인할 수 있는 사실이다.

### 3. 결론

사출금형의 냉각회로를 자동으로 최적화하기 위해 냉각관의 깊이와 간격, 배플관의 깊이와 간격을 각각 변수로 설정하고 반응표면법을 이용한

최적화를 위해 총 26회의 해석을 수행함으로써 시간적인 효율성이 떨어지는 점을 개선하기 위해 설계변수 감소 방안을 모색하였다. 깊이와 간격간의 상호 연관성을 조사하여 깊이에 대한 간격의 비를 채널비, 배플의 깊이에 대한 간격의 비를 배플비로 각각 명명을 하고 4개에서 2개로 변수의 개수를 감소시켜서 시간적인 면에서 효율성을 높이기 위한 기초연구를 진행하였다.

2차원 평판 해석에서 나온 결과는 냉각관의 깊이와 간격이 서로 1:2의 비율을 가지는 것을 확인할 수 있으며 이 결과를 3차원 제품에 적용시킨 경우, 배플관이 주요 냉각을 담당하는 대형제품에서 채널비 보다 배플의 깊이에 대한 간격의 비가 1:2로 일정하게 유지되고 있는 것을 확인하였다. 이로써 사출금형 냉각 최적화를 위해 설계 변수를 감소시킬 수 있는 가능성을 확인하였다.

### 후 기

본 연구는 지식 경제부와 한국산업 기술재단의 전략기술 인력양성사업의 지원으로 진행되었으며 이에 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Ji-Zhao Liang, 2002, An Optimal Design of Cooling System for Injection Mold, Polym-Plast. Technol. Eng., Vol. 41, No. 2, pp. 261~271
- [2] 장형건, 2007, “사출금형 냉각회로의 최적설계 자동화에 관한 연구”, 아주대학교, 학위논문(석사)
- [3] 정현우, 2008, “지정 제품온도를 위한 사출금형 냉각회로 자동최적화 연구”, 아주대학교, 학위논문(석사)
- [4] G. Menges, W. Michaeli, P. Mohren, 2001, How to make Injection Molds, HANSER, pp. 271~308
- [5] D. M. Zarkdas, M. Xanthos, 2003, Prediction of cooling time in injection molding, Advances in Polymer Technology, Vol. 22, No. 3, pp. 188~208