

## 중자조형기의 토치위치 최적화를 위한 열계해석

한근조(동아대 기계공학과), 안성찬(동아대 대학원 기계공학과), 심재준(동아대 대학원 기계공학과), 한동섭\*(동아대 대학원 기계공학과)

### Thermal System Analysis for Optimization of Torch Position in The Core Making Machine.

G. J. Han(Mech. Eng. Dept., DAU), S. C. Ahn(Mech. Eng. Dept., DAU), J. J. Shim(Mech. Eng. Dept., DAU), D. S. Han(Mech. Eng. Dept., DAU)

#### ABSTRACT

The new core making method economized on core sand requested. The new method is heating core box until it reaches reasonable temperature and then spraying core sand with core binder into core box. Inner temperature distribution have to uniform in order to form core of uniform thickness. Therefore, in this study we treat of inner temperature distribution of core box in priority.

First, determine proper torch number. Next, optimize the torch position to minimize the average of absolute deviation(AVEDEV) of inner temperature. The results are as followed :

1. The torch number that makes inner temperature distribution about 300℃ uniformly is 25.
2. When  $S_H$  and  $S_V$  is 0.7, the torch position is optimized and AVEDEV is 5.85.

**Key Words** : Thermal system analysis (열계해석), FEM (유한요소법), Heat flux (열유속), Conduction (전도), Core (중자), Core box (조형틀), Core sand (주물사), Optimization (최적화)

#### 1. 서론

주물공정에 있어서 중공제품은 주물사로 만든 외형인 몰드(mold)와 내형인 중자(core)를 결합시켜 주물을 부어 제품을 생산해 내게 되는데, 외형인 몰드에 비해 내형인 중자는 강도적인 측면에서 월등해야 하므로 외형에 쓰이는 주물사보다도 훨씬 고온 재료를 사용하여 만들게 되며, 또한 질소 및 점착제 등을 사용하여 제작하는 외형과 달리 내형은 열을 가해 구워내는 중자조형기를 통해 제작하게 된다.

중자로써 사용한 주물사는 외형에 쓰이는 주물사에 비해 고가이며, 재활용이 불가능하다. 따라서 중자조형틀 안에 주물사를 가득 채운 후 열을 가하여 구워내는 기존의 방식을 탈피하여 주형틀을 적정 온도까지 가열한 후 점착제를 가미시킨 주물사를 주형틀안에 분사하여 일정한 두께로 소결시켜 중자를 제작함으로써 주물사를 절약할 수 있는 새로운 중자조형법의 필요성이 대두된다.

두께가 일정한 중자를 제작하기 위해 조형틀의 내부온도 분포가 균일해야 하므로 본 연구에서는 새로운 중자조형기에 장착할 조형틀 내부의 온도분포를 중점적으로 다루고자 한다. 우선 토치(torch)의 개수에 따른 내부 온도분포를 살펴보고, 이후에 내부 온도분포의 절대편차평균(AVEDEV)이 가장 작아지는 토치 위치를 유한요소법을 이용한 열해석을 수행하여 결정하고자 한다. 파라메타로는 토치 개수, 토치 위치의 변화를 사용하였다.

#### 2. 유한요소해석

유한요소해석을 위해 범용유한요소해석 프로그램인 ANSYS5.6을 사용하였으며, 열해석을 수행하여 온도분포를 구하고, 열해석에서 얻어진 온도분포를 이용하여 열영력해석을 수행한다.

##### 2.1 해석모델

조형틀은 중자의 형태에 따라 제작되며, 본 연구에서 사용한 조형틀은 주철(GC 25)을 사용하여 제작하며 물성치는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Material properties of GC 25.

Specific heat	c	0.503 kJ/kgK
Density	$\rho$	$7.32 \times 10^{-6}$ kg/mm <sup>3</sup>
Thermal conductivity	$\lambda$	$4.28 \times 10^{-2}$ W/mmK
Linear thermal expansion	k	$11.9 \times 10^{-6}$ /K
Yield strength	$\sigma_y$	25 kgf/mm <sup>2</sup>
Young' modulus	E	$1.2 \times 10^4$ kgf/mm <sup>2</sup>
Poisson' ration	$\nu$	0.3

조형틀의 크기는 가로 500mm, 세로 390mm, 폭 100mm이며, 내부의 최대 공간은 가로, 세로 모두 300mm, 폭 70mm이다. 주형틀은 좌우 대칭형이므로 중앙을 기준으로 1/2만 해석을 수행한다. 해석에 사용된 요소의 종류는 3자유도를 가진 8절점 brick 요소를 사용하였다. 해석은 열해석을 수행하였으며, modeling에 사용된 요소 수는 1602~1904개, 절점 수는 2255~2640개이고, 메쉬된 형상을 Fig. 1에 나타내었다.



Fig. 1 Meshed shape of model.

## 2.2 경계조건 및 하중조건

해석은 열해석과 열해석을 이용한 구조해석의 두 가지 단계를 거쳐 수행하게 되며, 조형틀의 경계조건 및 하중조건은 Fig. 2에 나타내었다.

각각에 대한 구속조건을 살펴보면, 먼저 열해석 시 토치의 온도는 350℃이고, 조형틀 주위는 대류에

의한 열전달(손실)이 발생하게 된다. 다음으로, 구조 해석 시 좌우 edge 부분이 구속되고, 하중은 열해석에 의한 온도분포를 적용한다.

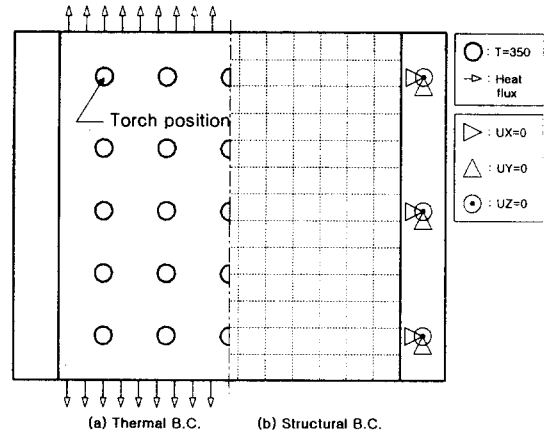


Fig. 2 The boundary condition of model.

## 3 설계 파라메타 정의

새로운 중자조형법에 있어서 가장 중요한 것은 중앙부(thin)와 외곽부(thick)의 두께가 다른 조형틀의 내부온도가 300℃로 균일해야 한다는 것이다. 열전달에 있어서 온도분포는 전달거리에 따라 달라지게 된다. 만약 토치 위치를 등 분포시킬 경우 중앙부는 두께가 얇으므로 비교적 높은 온도, 외곽부는 두께가 두꺼우므로 비교적 낮은 온도의 분포를 나타내게 된다.

따라서 중앙부의 토치 간격보다 외곽부의 토치 간격이 더 조밀하게 구성되어야 한다는 결론에 의거 토치 분포에 관한 일정한 규칙을 갖는 식을 이용하여 300℃를 기준으로 내부온도 절대편차평균이 최소가 되는 토치 위치를 결정한다.

이때, 해석에 필요한 적정 토치 개수를 정하는 과정이 선행되어야 한다. 토치 개수의 변화에 따른 조형틀 내부의 온도분포를 살펴보고, 300℃를 기준으로 절대편차평균이 최소가 되는 토치 개수를 정한다.

### 3.1 토치 개수의 변화

토치가 분포하는 면이 조형기에 부착시켜 고정하는 좌우 edge부분을  $400 \times 390$ 으로 정방형에 가깝기 때문에 토치를 가로 세로 같은 수로 분포시켰다. 토치 간격은 등분포로 같게 하고, 토치 개수를 1, 4, 9, 16, 25, 36의 여섯 가지 경우에 대하여 각각 열해석을 수행한다.

### 3.2 토치 위치의 변화

등 분포 상태에서 최적위치 해석에 필요한 토치 개수가 결정되면, 중앙부에 비해 외곽부의 간격이 조밀하도록 각 토치 사이의 간격을 일정한 규칙을 이용하여 변화시켜 가면서 해석을 수행한다.

### 3.2.1 토치 위치 결정을 위한 식

각 토치 사이의 간격( $l_n$ )은 등차수열을 이용하여 다음과 같이 얻어진다.

$$l_n = l_0[1 + Sn], \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

여기서,  $l_0$ 는 초기간격,  $l_n$ 은  $n$ 번째 간격, 공차  $S$ 는 수평( $S_H$ )과 수직( $S_V$ ) 두 가지이며, 0~1까지 0.2 간격으로 각각 여섯 가지 경우에 대하여 해석을 수행한다.

### 3.2.2 토치 위치 최적화

먼저,  $S_V$ 를 0으로 놓고  $S_H$ 를 0에서 1까지 0.2간격으로 변화시키고, 같은 방법으로  $S_H$ 를 0으로 놓고  $S_V$ 를 0에서 1까지 0.2간격으로 변화시켜 해석을 수행한 후 내부온도 절대편차평균이 최소가 되는  $S_H$ 와  $S_V$ 를 각각 찾는다.

다음으로, 위 단계에서 구한  $S_H$ 와  $S_V$ 에 대하여 각각  $\pm 0.2$ 의 유효범위 내에서 0.1간격으로 각각에 대하여 재해석을 수행하여 내부온도 절대편차평균이 최소가 되는 토치의 최적위치를 찾는다.

## 4. 해석결과 및 고찰

### 4.1 토치 개수에 따른 온도분포

토치 개수는 1, 4, 9, 16, 25, 36개의 6가지 경우에 대하여 300℃에 대한 절대편차평균(AVEDEV)을 구한 해석결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 The list result of AVEDEV to torch number.

Torch number	AVEDEV
1 × 1	13.28
2 × 2	11.43
3 × 3	10.88
4 × 4	9.70
5 × 5	8.76
6 × 6	9.39

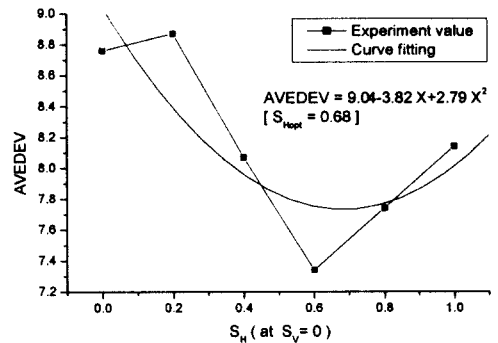
위 결과를 통해볼 때 토치 개수가 25개 일 때 내부온도 절대편차평균(AVEDEV)이 가장 작은 값이 되므로, 최적의 토치 개수는 25개이다.

### 4.2 토치 위치에 따른 온도분포

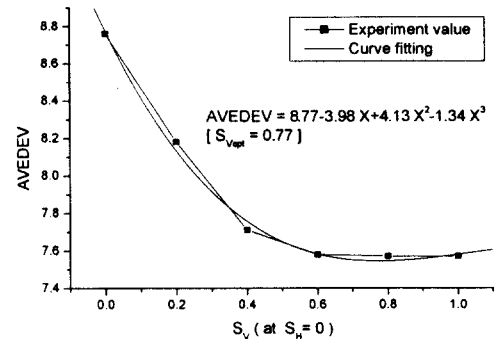
먼저, 25개의 토치를  $S_H$ 와  $S_V$ 의 값에 따라 각각 배열하고, 열해석을 수행하여 각각의 토치 위치에 따른 내부온도 절대편차평균(AVEDEV)에 대한 결과 값을 Table 3와 Fig. 3에 나타내었다.

Table 3 The list result of AVEDEV to torch position (5 × 5).

at $S_V = 0$		at $S_H = 0$	
$S_H$	AVEDEV	$S_V$	AVEDEV
0	8.76	0	8.76
0.2	8.87	0.2	8.18
0.4	8.07	0.4	7.71
0.6	7.34	0.6	7.58
0.8	7.74	0.8	7.57
1	8.14	1	7.57



(a) The change of  $S_H$  at  $S_V = 0$ .



(b) The change of  $S_V$  at  $S_H = 0$ .

Fig. 3 The plot result of AVEDEV to torch position.

그림에서와 같이  $S_H$ 의 추세선은 2차식으로 나타나고,  $S_V$ 의 추세선은 3차식으로 나타나며, 각각  $S_{Hopt}$ 는 0.68,  $S_{Vopt}$ 는 0.77에서 최소 값을 갖는다.

다음으로, 위에서 얻어진  $S_{Hopt}$ 와  $S_{Vopt}$ 의 값에 대한 유효범위는 각각  $S_H$ 는 0.5~0.8,  $S_V$ 는 0.6~0.9이며, 각각 0.1간격으로 나뉘 총 16가지 경우에 대하여 재해석을 수행하였고, 해석결과는 Table 4에 나타내었다.

Table 4 The result of AVEDEV at effective range.

$S_V \backslash S_H$	0.5	0.6	0.7	0.8
0.6	6.92	6.11	6.09	6.66
0.7	6.71	5.88	5.85	6.43
0.8	6.82	6.15	6.12	6.57
0.9	7.62	6.55	6.52	7.23

위 결과를 살펴보면,  $S_H$ 와  $S_V$  모두 0.7일 때 조형틀의 내부온도 절대편차평균(AVEDEV)이 5.85로써 가장 적은 값을 나타내었으며, 이때 조형틀 내부 표면의 온도분포도는 Fig. 4에 나타내었다.

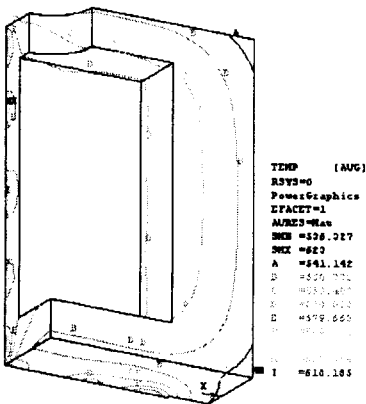


Fig. 4 Distribution of inner temperature (at 0.7×0.7).

## 5. 결론

본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 새로운 증자조형법을 적용한 증자조형기의 설계를 위한 토치 위치 최적화를 수행하였다. 파라메타로는 토치개수 및 토치위치의 변화를 고려하였으며, 토치의 온도는 350℃, 조형틀 내부의 온도는 300℃가 되는 조건에서 해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 내부온도가 300℃로 고르게 분포되는 토치의 개수는 25이며, 이때 절대편차평균(AVEDEV)이 8.76으로써 가장 작은 값을 보였고, 이를 초과할 경우 내부온도 절대편차평균이 다시 증가함을 알 수 있었다.

2. 25개의 토치 위치변화에 따른 최적위치는  $S_H$ 와  $S_V$  둘 다 0.7일 때, 절대편차평균(AVEDEV)이 5.85로써 가장 효율적인 온도분포를 보였다.

## 참고문헌

1. O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor, "The Finite Element Method", 4th. ed., McGraw-Hill, Vol. 1, pp. 260-287, 1989.
2. Incropera. F, Dewitt. D, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 2nd ed., New York, John Wiley & Sons, 1985.
3. Segrind. L, "Applied Finite Element Analysis, 2nd ed., New York, John Wiley & Sons, 1984.
4. J. P. Holman, "Heat Transfer", 7th ed., McGraw-Hill, 1990.
5. H. S. Carslaw, J. C. Jaeger, "Conduction of Heat in Solids", Oxford Univ. Press, London, 1959.
6. Singiresu S. Rao, "Engineering Optimization", 3rd ed., New York, John Wiley & Sons, 1996.
7. 윤정인, 김시범, 차상원, 하만영, "열전달," 시그마프레스, pp. 340, 1997.