

핫플레이트를 균일온도로 가열하기 위한 카트리지히터 제작에 관한 연구

홍재택, 최신형, 이봉섭, 이진
강원대학교 제어계측공학과

A Study on Cartridge heater design for heating Hotplate to uniform surface temperature

Jae Tack Hong, Shin Hyeong Choi, Bong Seob Lee, Jin Lee
Kangwon National University

ABSTRACT

본 연구에서는 핫플레이트를 균일한 표면 온도로 가열시키기 위한 카트리지 히터의 설계를 시도하였다. 이를 위하여 1. 표면 전력밀도 및 전열선 전력밀도에 따른 발열온도 측정 실험 2. 카트리지 히터의 분할 영역과 전열선 권선 비율에 따른 온도 측정 실험을 실시하여 온도분포형 카트리지 히터의 설계 사양을 선정하였다. 또한 이렇게 설계한 카트리지 히터를 직접 제작하여 기존의 표준형 카트리지 히터와의 성능 비교 측정 실험을 실시하여, 본 연구에서 제시한 방법으로 제작한 카트리지 히터의 표면 온도 균일도가 우수함(표면 온도차 $\leq 1.25[^\circ\text{C}]$)을 증명하였다.

I 서론

피 가열물체의 정밀한 표면 가열 열원으로 사용되고 있는 핫플레이트(Hotplate)는 내장된 카트리지 히터(Cartridge heater)의 전열선(Electrothermal wire)에서 열을 발생시켜 표면을 가열시키는 구조로 되어있다[1-3]. 일정한 온도로 피 가열물을 가열하기 위해서 핫플레이트는 가열 영역 내에서는 균일하게 발열되어야 한다. 또한, 온도분포형 카트리지 히터를 사용하여 최소한의 표면 온도편차를 가지도록 제작해야 한다. 본 논문에서는 핫플레이트 표면 균일온도를 유지하기 위한 카트리지 히터의 제작을 위하여 실제 제작 실험을 통해 온도차를 줄이는 분할 영역 비율과 가열 영역별로 발열온도에 따른 전열선 권선 기준 비율을 제시하였다.

II. 카트리지 히터 제작을 위한 이론적 고찰

1. Hotplate 및 카트리지 히터의 구조

1.1 핫플레이트

다음 그림 1에 핫플레이트의 구조를 설명하기 위한 실물 사진을 나타내었다.



그림 1 핫플레이트
Fig. 1 Hotplate

핫플레이트는 금속판(일반적으로 연강 재질)에 홀(Hole)을 만들어 카트리지 히터를 설치한 후, 리드선을 통해 전기를 인가하면 히터가 발열하여 금속 재질인 핫플레이트가 가열되어 판 위의 피 가열체를 가열시키는 구조로 되어있다.

1.2 카트리지 히터

다음 그림 2에 카트리지 히터의 구조를 설명하기 위해서 구성도와 실물 사진을 나타내었다.

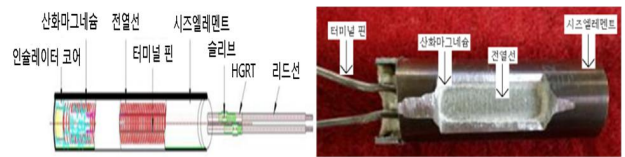


그림 2 카트리지 히터
Fig. 2 Cartridge heater

카트리지 히터에 사용되는 구성 요소로는 열을 발생시키는 전열선, 전열선을 고정하는 인슐레이터 코어, 열을 절연시키는 절연재, 열을 전도시키는 시즈엘레먼트, 전기를 절연시키는 리드인출부로 구성된다.

2. 카트리지 히터 제작 방법

카트리지 히터는 다음의 3가지의 전력밀도를 고려하여 적절한 전열선 직경과 권선 비율을 선정한다.

2.1 표면 전력밀도

표면 전력밀도는 카트리지 히터의 구조적 요인과 그에 따라 필요한 전기용량을 결정하는 지표로 사용하며 다음 식(1)로 정의된다[4].

$$\frac{\text{카트리지 히터의 전기용량}}{\pi \times \text{히터 지름} \times (\text{발열부길이} - \text{비발열부길이})} [W/cm^2] \quad (1)$$

2.2 최대허용 전력밀도

최대허용 전력밀도는 카트리지 히터의 수명을 결정하는 요소로써 표면 전력밀도에서 결정된 전력밀도와 히터의 에어갭, 가열온도에 따라서 다음 그림 3에 나타난 최대허용 한계 그래프(graph)를 사용하여 설정할 수 있으며 에어갭과 사용 온도가 교차된 지점이 최대허용 전력밀도이다[5].

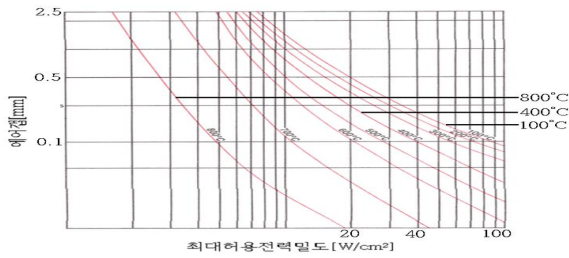


그림 3 최대허용 전력밀도
Fig. 3 Maximum allowable power density

2.3 전열선 전력밀도

전열선 전력밀도는 필요한 발열온도에 따른 전기용량이 계산 되면 다음 식(2)와 표 1을 이용하여 계산할 수 있다[4]. 즉, 위 식을 통하여 설정한 가열 온도에 필요한 전열선 전력밀도에 적합하도록 전열선 직경을 선정하여 카트리지 히터를 제작할 수 있다.

$$\frac{\text{카트리지 히터의 전기용량}}{\pi \times \text{전열선 지름} \times \text{전열선 길이}} [W/cm^2] \quad (2)$$

표 1 가열 온도에 따른 전열선 직경
Table 1 Diameter of electrothermal wire for heating temperature

직경 [mm]	도체 저항 [Ω]	가열온도에 따른 필요한 전류[A]			
		50	100	150	200
0.5	5.498	0.599	1.11	1.5	1.86
0.45	6.792	0.52	0.962	1.3	1.62

3. 실험 및 결과

본 연구에서 온도분포를 측정하기 위하여 사용한 실험 장치 및 실제 제작한 카트리지 히터의 사진을 그림 4에 나타내었다.

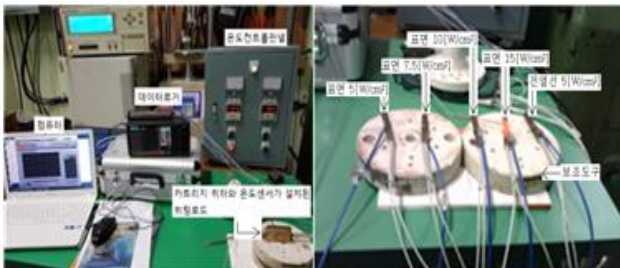


그림 4 실험 장치와 카트리지 히터의 사진
Fig. 4 Photos of experiment system and Cartridge heater

3.1 전력밀도 상관관계 분석

표면 전력밀도 5/7.5/10/15[W/cm²]와 전열선 전력밀도 5[W/cm²]를 갖는 5개의 카트리지 히터(CH)를 각각 제작하여 비교, 성능 실험한 결과는 다음과 같다.

표 2 5종류의 카트리지 히터의 성능 비교
Table 2 Performance comparison of 5 Cartridge heaters

항목 측정대상	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
설정 온도[°C]	도달 시간				
0~100[°C]	1:46	2:46	1:05	44	1:06
100~200[°C]	8:51	5:16	3:57	1:55	4:18
200~300[°C]	21:17	10:54	6:15	2:33	5:05
300~400[°C]		20:24	9:43	3:37	9:23

CH 3(표면 전력밀도 10[W/cm²])과 CH 5(전열선 전력밀도 5[W/cm²])의 결과가 유사하다. 따라서 표면 전력밀도의 1/2인 전열선 전력밀도를 적용하면 전력 소비를 줄이며 수명을 증가시킬 수 있다.

3.2 분할 영역과 권선 비율 분석

표면 온도 균일도가 높은 온도분포형 카트리지 히터를 제작하기 위하여 7개의 분할 영역으로 나누어 전열선 권선비율이 서로 다른 6개의 카트리지 히터를 제작하였다. 위와 같이 제작한 6개 카트리지 히터의 표면 온도차 측정 결과를 다음 표에 나타내었다.

표 3 6개의 카트리지 히터 표면 온도차 비교
Table 3 Comparison of surface temperature difference of 6 cartridge heaters

측정대상	권선비율							온도차 [°C]
	1	2	3	4	5	6	7	
1	23	15	10	2	10	15	23	7.3
2	23	14	11	6	11	14	23	5.5
3	22	12	12	8	12	12	22	3.9
4	20	13	12	10	12	13	20	2.6
5	19	14	11.5	11	11.5	14	19	2.0
6	19	14	12	10	12	14	19	1.2

6번의 카트리지 히터가 최소의 표면 오차를 나타냄을 알 수 있다. 또한 위의 실험 방법을 통하여 결정한 내역으로 제작한 온도분포형 카트리지 히터가 기존에 주로 사용되고 있는 표준형 카트리지 히터의 성능보다 우수함이 실험을 통하여 밝혀졌다.

III. 결론

핫플레이트를 균일한 온도로 가열하기 위한 카트리지 히터의 제작을 위하여 1. 표면 전력밀도보다는 전열선 전력밀도를 기준으로 전열선을 선정하여 카트리지 히터를 제작하는 것이 더 효율적이며, 2. 기존의 표준형 카트리지 히터보다는 7개의 분할영역에 서로 각각 다른 권선 비율(19:14:12:10:12:14:19)을 적용한 카트리지 히터가 가장 균일한 표면온도(표면온도차 ≤ 1.25[°C])의 성능을 보이는 결과를 직접 제작한 카트리지 히터를 가지고 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 이진호, "핫플레이트 온도 균일도 향상을 위한 열설계 연구", 2007
- [2] 최필규, "반도체 고온공정용 AlN Hot Plate의 전열 수치해석", 2012
- [3] 강임성, "핫플레이트의 表面溫度 均一化 向上에 關한 研究", 2013
- [4] (주)한일전열엔지니어링, 전기히터와 Heating System, pp. 18 390, 199,
- [5] Watlow Catalogue, COR HPC 65, pp. 98,