Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 14, No. 11 pp. 5344-5351, 2013

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.11.5344

균일 온도를 유지하는 연속 소성로 체임버의 설계

이광주[1*], 최준혁[2], 장한슬[2]
[1]한국기술교육대학교 기계공학부, [2]한국기술교육대학교 대학원 기계공학과

Design of Chamber in Continuous Furnace for Uniform Temperature Distribution

Kwangju Lee[1*], Joon Hyeok Choi[2] and Han Seul Jang[2]
[1]**School of Mechanical Engineering, Korea Tech (Korea University of Technology and Education)**
[2]**Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Korea Tech**

요 약 적층 세라믹 반도체의 제조 공정에서 사용되는 연속 소성로의 체임버를 설계하였다. 소성과정에서 발생하는 이물질의 효과적인 배출을 위하여 사용되는 질소 기체의 흡배기구, 소성되는 재료의 아래와 위에 위치한 열선 등이 각각의 체임버에 들어가게 된다. 본 연구에서는, 흡배기구의 개수, 체임버 바닥과 아래 열선 사이의 간격 (h_1), 아래 열선과 소성 재료 사이의 간격 (h_2), 소성 재료와 위 열선과의 간격 (h_3), 열선의 온도, 열선의 개수 및 간격 등을 설계변수로 사용하였다. 체임버 내부에서 질소 기체가 난류가 아닌 층류를 가장 잘 형성하는 방향으로 흡배기구의 개수를 결정하였다. 재료의 이송 위치에서 온도를 섭씨 1,300도로 가장 균일하게 유지할 수 있는 방향으로 나머지 설계변수들 (h_1, h_2, h_3, 열선의 온도, 열선의 개수 및 간격 등)의 값을 결정하였다. 설계된 체임버를 제작하여 열전대를 사용하여 온도를 측정하여 보았다. 측정된 온도는 섭씨 1,300도에서 섭씨 ±2.2 도의 범위 내에서 온도를 균일하게 유지함을 확인하였다.

Abstract Chambers in a continuous furnace were designed. A chamber consists of inlets and outlets of nitrogen gas which is used to discharge burned gas and heating pipes (HP) which are used to keep temperature of fired materials at 1,300 ℃. Design variables were numbers of inlets and outlets, distance between floor and lower HP (h_1), distance between lower HP and fired materials (h_2), distance between fired materials and upper HP (h_3), temperature of HP, numbers of HP and distance between HP. The numbers of inlets and outlets were determined so that nitrogen gas formed a laminar flow for efficient discharge. All other design variables were determined so that temperature of fired materials is as uniform as possible near 1,300 ℃. Chambers were produced and temperature was measured at 21 points using thermocouples. The largest deviation from 1,300 ℃ was less than ±2.2 ℃.

Key Words : Continuous Furnace, Roller Hearth Kiln, Uniform Temperature Distribution

1. 서 론

1.1 연구배경

IT 산업의 급속한 발전에 따라 세라믹 칩의 활용 분야가 확대되고 있다. 적층 세라믹 반도체 (MLCC, Multi-Layer Ceramic Capacitors)는 연속 소성로에서 탈바인더, 소성 및 냉각 공정을 거치게 된다[1].

이러한 공정에서 구간 별 다양한 소성 분위기 온도 프로파일을 적용할 수 있는 RHK (Roller Hearth Kiln) 방식 고집적 세라믹 반도체 기판 제조용 연속 소성기술 및 장비 개발이 필수적이나 국내에는 일부 요업 용품 소성에 RHK방식이 적용되고 있지만, LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic)와 MLCC 등의 고 정밀 전자부품 제작

*Corresponding Author : Kwangju Lee(Korea Tech)
Tel: +82-41-560-1125 email: klee@koreatech.ac.kr
Received August 19, 2013 Revised October 1, 2013 Accepted November 7, 2013

에 사용되는 고정밀 RHK 소성기의 경우 공정 설계 (온도 프로파일 등) 및 제어 부 제조기술 부족으로 해외 선진업체에서 전량 수입하고 있는 실정이다.

1.2 연구동향

소성로의 온도에 관한 기존의 연구동향은 다음과 같다. Jeong 등은 소성로의 운전 조건을 바탕으로 해석을 수행하여, 히터의 상대적인 위치에 따라 외벽을 통해 빠져나가는 열량이 함께 변화하여 소비전력이 달라짐을 확인하였다[2].

Hwang 등은 해석을 통하여 소성로 내부의 여러 위치에서 온도 데이터와 대류 열전달을 예측할 수 있었고, 이를 바탕으로 여러 가지 인자가 소성로의 내부조건에 어떤 영향을 미치는지 예측 할 수 있다[3].

MLCC 제조 공정에서 발생하는 잔류응력에 대한 열-구조 해석도 진행되었다. Lee와 Kim는 MLCC 제조공정의 소결 과정에서 수반되는 열에 의한 잔류응력이 결함과 불량 발생의 요인이 됨을 확인하고 공정 및 설계의 최적화 실현을 위한 잔류응력의 분포에 관한 결과를 확인하였다[4].

체임버의 온도 제어를 위하여, Yoon 등은 비선형 제어를 통하여 섭씨 ±0.1도 내의 오차를 실현하였다[5]. 반도체 검사장비 체임버 내부의 온도분포 균일성 향상을 위하여, Lee 등은 기존 체임버의 설계를 변경하여 온도분포를 섭씨 90±0.8 도로 개선할 수 있었다[6].

1.3 연구목적 및 방법

본 연구에서는 재료의 이송 위치에서 목표 온도 (섭씨 1,300도)를 균일하게 유지하는 RHK 소성로의 체임버를 설계하려고 한다. 체임버의 설계에서 고려된 설계 변수는, 흡기구와 배기구의 개수, Heating Pipes의 개수, 체임버의 치수 및 Heating Pipes 사이의 간격 등이다. 체임버의 치수로는, 체임버 바닥과 Lower Heating Pipes (LHP) 사이의 거리, LHP와 재료이송 위치 사이의 거리, 재료이송 위치와 Upper Heating Pipes (UHP) 사이의 거리 등을 고려하였다.

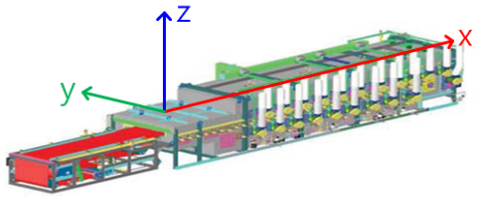
체임버 내부의 재료이송 위치에서 재료 이송 방향으로 균일하게 위치한 1,000개의 노드에서 온도를 섭씨 1,300도로 균일하게 유지할 수 있도록 체임버를 설계하였다. 상용프로그램인 ANSYS/ICEM CFD를 이용하여 모델링 및 격자를 생성하였으며 ANSYS/FLUENT를 사용하여 온도 분포를 계산하였다[6].

설계된 체임버를 제작한 다음에 재료이송 위치에 위치한 21개의 장소에서 열전대로 온도를 측정하여 설계의 정확도를 검증하였다.

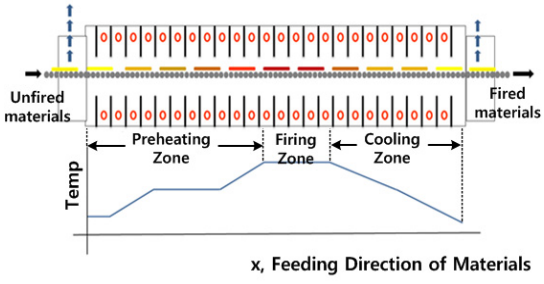
2. 소성로 체임버 설계 목표 및 방법

2.1 소성로

RHK 소성로의 전체 형상을 Fig.1에 도시하였다. RHK 소성로는 모두 24개의 체임버로 구성된다[Fig. 2]. 소성하려는 재료를 좌측에서 넣어주면 가열 (Preheating), 소성 (Firing) 및 냉각 (Cooling) 구간을 통과하여 연속적으로 소성이 이루어지게 된다. 이를 위해 모든 체임버는 그 전후의 다른 체임버와 칸막이 등으로 구분되어 있지 않다. 소성구간은 모두 4개의 체임버로 구성되는데, 재료이송 위치에서 온도를 섭씨 1,300도로 정확하게 유지하는 것이 매우 중요하다.



[Fig. 1] RHK Furnace

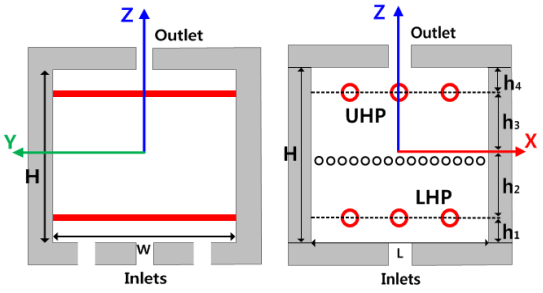


[Fig. 2] RHK Furnace and Its Temperature Profile

재료가 이송되는 방향과 측면 방향에서 본 체임버의 단면을 Fig. 3에 도시하였다. Fig. 3에 표시된 좌표축은 Fig. 1에서 정의하였다. 소성로에는 아래에서 위로 질소 기체의 주입과 배출을 위한 흡기구와 배기구를 설치하게 된다. 질소 기체를 주입하는 이유는 소성 과정에서 발생한 이물질을 바깥으로 배출하기 위함이다. 한 체임버에 여러 개의 흡기구와 배기구를 설치할 때에는 이들을 Fig. 1의 y-축 방향으로 배치하였다.

소성구간에서는 온도를 섭씨 1,300도로 유지하기 위해서 재료이송 위치를 따라서 열원을 배치하게 된다. 이들 열원은 재료이송 위치의 아래와 위에 설치하게 되며 이

들을 각각 Lower Heating Pipes (LHP)와 Upper Heating Pipes (UHP)라고 부른다. 여러 개의 LHP와 UHP들을 설치할 때에는 이들을 Fig. 1의 x-축 방향으로 배치하였다.



[Fig. 3] Section Views of Chamber in RHK Furnace (a) Front View (in yz-plane) (b) Side View (in xz-plane)

2.2 설계 목표 및 설계 변수

본 논문에서는 설계 목표를 달성하기 위하여 다음의 설계 변수들을 순서대로 고려하였다.

[Table 1] Design Objectives and Design Variables

Design Objectives	▪ To discharge fume efficiently ▪ To keep chamber temperature at 1,300 ℃ ▪ To minimize electric power consumption
Design Variables	▪ Numbers of inlets and outlets ▪ No. of Lower Heating Pipes (LHP) ▪ Distance between chamber floor and LHP (h_1) ▪ Distance between LHP and feeding height of materials (h_2) ▪ No. of Upper Heating Pipes (UHP) ▪ Distance between feeding height of materials and UHP (h_3) ▪ Distance between UHP chamber ceiling (h_4) ▪ Distance between Heating Pipes (HP)

2.3 설계 방법

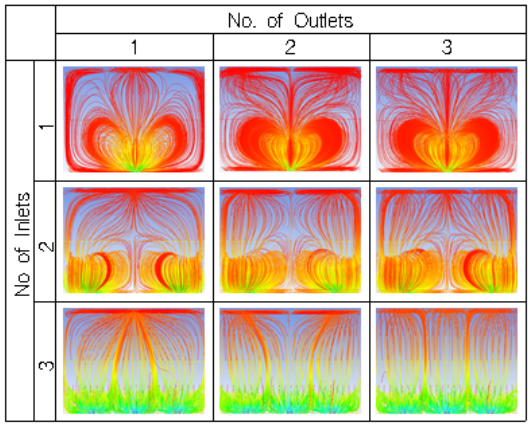
상용프로그램인 ANSYS/ICEM CFD를 이용하여 모델링 및 격자를 생성하였으며 ANSYS/ FLUENT를 사용하여 유선 (Streamline) 및 온도 분포를 구하였다[6]. 재료이송 방향 (Fig. 1의 x-축 방향)으로 한 개 체임버의 길이는 275 mm이며, 재료이송 위치에서 재료이송 방향으로 균일하게 위치한 1,000개의 노드에서 온도를 계산하였다.

3. 소성로 설계

3.1 흡기구와 배기구 개수

소성 공정에서 발생하는 이물질을 제거할 수 있도록 질소 기체를 흡기구로 투입하고 배기구로 배출시켜야 한다. 효과적인 이물질 배출을 위해서, 투입된 질소 기체가 체임버 내에서 난류가 아닌 층류를 형성하는 것이 중요하다. 상용프로그램인 ANSYS/FLUENT를 사용하여 흡기구와 배기구의 개수를 변화시키면서 유선을 관찰해보았다[Fig. 4].

흡기구가 3개일 때 유선이 가장 잘 층류를 형성하는 것을 알 수 있다[Fig. 4]. 배기구 개수도 변화시켜 보았으나, 모든 경우에 유선이 층류를 형성하는 것을 알 수 있었다. 따라서 흡기구의 개수는 3개, 배기구의 개수는 1개로 결정하였다.



[Fig. 4] Streamlines with Different Numbers of Inlets and Outlets

3.2 Heating Pipes의 개수 및 Chamber 높이

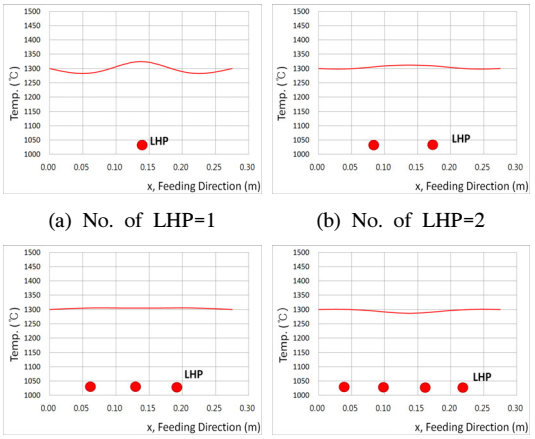
소성구간에 위치한 체임버 내부의 온도를 섭씨 1,300도로 가장 균일하게 유지시켜줄 수 있도록 체임버 내부의 Heating Pipes (HP)의 개수와 체임버 높이를 설계하였다.

3.2.1 Lower Heating Pipes (LHP)의 개수

앞에서 결정된 바와 같이 흡기구가 3개인 경우에 LHP의 개수를 1~4개로 변화시키면서 재료이송 위치에서 온도를 계산하였다. LHP의 직경은 25mm이며, 계산 과정에서 재료이송 위치에서 온도가 섭씨 1,300도에 가깝도록 LHP의 온도를 조정하였다.

위의 과정을 통하여 재료이송 위치에서 이송방향으로 등 간격으로 위치한 1,000개의 노드에서의 온도분포를 Fig. 5에 도시하였다. Fig. 5의 모든 경우에 대하여, LHP의 온도, 1,000개 노드에서의 최고온도, 최저온도, 최고 및 최저 온도의 차이 및 평균온도를 Table 2에서 정리하였다. 또한 Table 2의 결과 중에서 평균 온도와 최고 및

최저 온도와의 차이를 Fig. 6에 도시하였다.



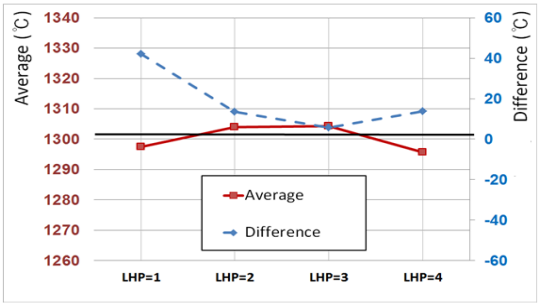
(a) No. of LHP=1 (b) No. of LHP=2

(c) No. of LHP=3 (d) No. of LHP=4

[Fig. 5] Temperature Distribution with Different No. of Lower Heating Pipes (LHP)

[Table 2] Temperature with Different No. of LHP

LHP No.	Temp. of LHP (˚C)	Temperature at Feeding Height (˚C)			
		Max	Min	Difference	Average
1	1,843.7	1,324.5	1,282.4	42.0	1,297.5
2	1,446.2	1,311.9	1,298.2	13.7	1,304.0
3	1,375.5	1,305.7	1,300.0	5.7	1,304.4
4	1,353.8	1,300.7	1,286.9	13.8	1,295.7



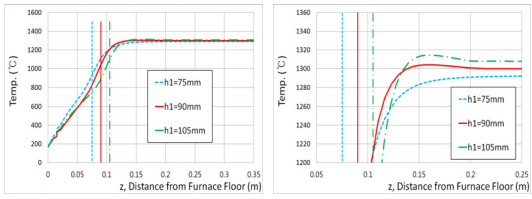
[Fig. 6] Average and Difference between Maximum and Minimum Temperatures with Different No. of LHP

Table 2와 Fig. 6에 의하면, LHP가 1개인 경우는 다른 경우에 비하여 최대 및 최저 온도의 차이가 너무 크다는 것을 알 수 있었다. LHP가 3개인 경우가 온도 차이가 최소이었으나, LHP가 2개인 경우에도 평균온도와 온도차이가 크게 나쁘지 않았다. LHP 개수가 증가하면 체임버 제작 비용도 증가함을 감안하여, LHP의 개수를 2개로 확정하였다.

3.2.2 Chamber 높이: h_1 및 h_2

Lower Heating Pipes (LHP)가 2개일 때, 체임버 바닥과 LHP 사이의 거리 h_1과 LHP와 재료이송 위치까지의 거리 h_2의 최적값을 찾아보았다[Fig. 3]. 모두 3가지 h_1 값 (75, 90, 105 mm)에 대하여 소성로의 수직 방향 (Fig. 1의 z-축 방향)를 따라서 온도 분포를 구하여 Fig. 7에 도시하였다.

Fig. 7(b)으로부터, $h_1 = 90mm$인 경우에 LHP를 통과한 이후 수직방향의 온도가 가장 섭씨 1,300도에 가깝게 유지됨을 알 수 있었다. 또한 $h_1 = 90mm$일 때, 체임버 바닥으로부터 200mm 높이에 이르러 온도가 섭씨 1,300도에 도달함을 확인할 수 있었다 (즉, $h_2 = 110mm$). 이상을 고려하여 $h_1 = 90$ 및 $h_2 = 110\ mm$로 결정하였다.



(a) Overall View (b) Magnified view

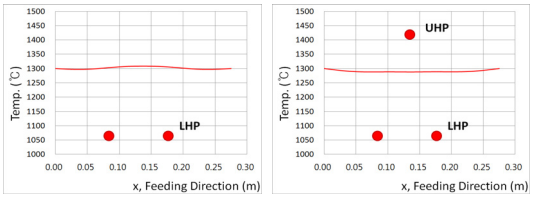
[Fig. 7] Temperature Distribution along Vertical Direction with Different h_1

3.2.3 Upper Heating Pipes (UHP)의 개수

흡기구가 3개, LHP가 2~3개이고 UHP가 0~2개인 경우에 재료이송 위치에서 온도분포를 해석하였다. 계산 과정에서 재료이송 높이에서 온도가 섭씨 1,300도에 가깝도록 Heating Pipes의 온도를 조정하였다. LHP와 UHP는 동일한 온도를 갖는 것으로 가정하였다.

재료이송 높이에서 등 간격으로 분포된 1,000개 노드에서의 온도분포를 Fig. 8에 도시하였다. Fig. 8의 모든 경우에 대하여, HP의 온도, 1,000개의 노드에서의 최고온도, 최저온도, 최고 및 최저 온도의 차이 및 평균온도를 Table 3에서 정리하였다. 또한 Table 3의 결과 중에서 평균 온도와 최고 및 최저 온도와의 차이를 Fig.9에 도시하였다.

Table 3을 살펴보면, UHP의 개수가 0 또는 1인 경우에 비하여 UHP의 개수가 2 또는 3인 경우에 최대 및 최소 온도의 차이가 매우 작아짐을 확인할 수 있었다.



(a) LHP No.=2, UHP No.=0 (b) LHP No.=2, UHP No.=1

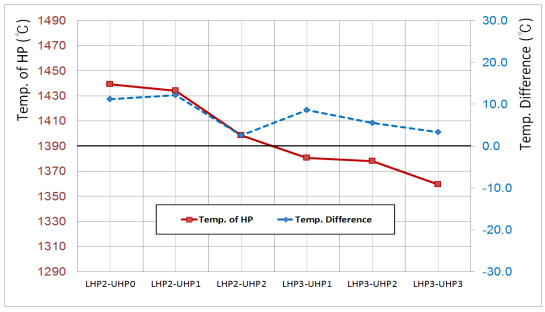
(c) LHP No.=2, UHP No.=2 (d) LHP No.=3, UHP No.=1

(e) LHP No.=3, UHP No.=2 (f) LHP No.=3, UHP No.=3

[Fig. 8] Temperature Distribution with Different No. of HP

[Table 3] Temperature with Different No. of HP

LHP No.	UHP No.	Temp. of HP (℃)	Temperature at Feeding Height (℃)			
			Max	Min	Difference	Average
2	0	1,439.1	1,308.2	1,297.0	11.2	1,308.3
2	1	1,434.2	1,300.0	1,287.9	12.1	1,290.3
2	2	1,398.6	1,301.8	1,299.3	2.6	1,300.9
3	1	1,380.7	1,300.0	1,291.4	8.6	1,296.3
3	2	1,378.0	1,302.0	1,296.5	5.6	1,299.7
3	3	1,359.3	1,303.3	1,300.0	3.3	1,302.1

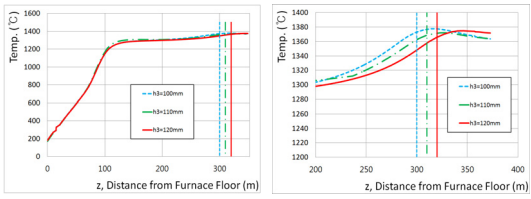


[Fig. 9] Average Temperature and Difference between Maximum and Minimum Temperatures with Different No. of HP

다음으로 UHP 개수가 2 또는 3인 3가지 경우들을 서로 비교해 보았다. 이 중에서 LHP가 2개이고 UHP가 2개인 경우가 최대 및 최소 온도의 차이가 가장 작음을 확인하였다. LHP가 2개인 경우가 3개인 경우들에 비하여 Heating Pies (HP)의 온도가 높음을 알 수 있었다. 즉, LHP가 2개인 경우에 HP의 온도는 섭씨 1,398.6도이며 LHP가 3개인 다른 2가지 경우에는 HP의 온도가 각각 섭씨 1,378.0 도 및 1,359.3도이었다. HP의 온도와 개수에 비례하여 전력소모가 증가하여 경제성이 나빠지게 된다. LHP가 2개인 경우에 HP의 온도가 약간 더 높으나 HP의 총 개수가 1개 이상 더 작아지므로 오히려 경제성은 더 높다고 할 수 있다. 따라서 LHP와 UHP 모두 각각 2개인 경우가 최적임을 알 수 있었다.

3.2.4 Chamber 높이: h_3 및 h_4

재료이송 위치와 UHP 사이의 거리 h_3과 UHP와 체임버 천장까지의 거리 h_4의 최적값을 찾아보았다. 모두 3가지 h_3 값 (100, 110, 120mm)에 대하여 체임버의 수직방향 (Fig. 1의 z-축 방향) (을 따라서 온도 분포를 구하여 도시하였다[Fig. 10]. 재료이송 위치에서의 온도가 섭씨 1,300도가 되어야 하므로 h_3 값이 변화할 때 UHP의 온도를 함께 변화시키면서 재료이송 위치의 온도가 섭씨 1,300도가 되도록 하였다.



(a) Overall View (b) Magnified View

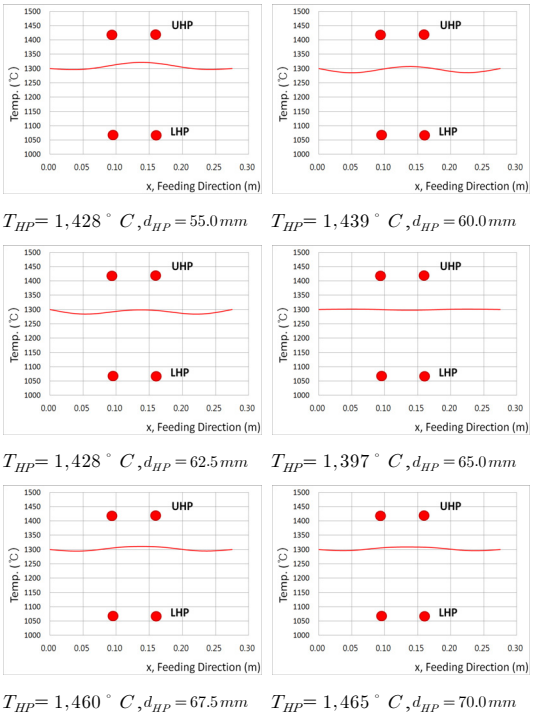
[Fig. 10] Temperature Distribution along Vertical Direction with Different h_3

Fig. 10의 z-축 값 200mm가 재료이송 위치에 해당된다($h_1 + h_2 = 200\,mm$). 또한 z-축 값 300, 310, 320mm가 각각 h_3의 값 100, 110, 120mm에 해당된다. Fig.10(b)로부터 $h_3 = 120$mm일 때 재료이송 위치 (z=200mm)에서 온도가 가장 섭씨 1,300도에 가까움을 알 수 있다. 따라서 $h_3 = 120$mm로 결정하였다. UHP와 체임버 천장 사이의 거리인 h_4는 재료이송 위치에서의 온도에 영향을 미치지 않는다. 이 값이 너무 크면 체임버 제작비가 많이 증가하고, 너무 작으면 단열이 힘들게 되어 임의로

h_4 = 60mm로 결정하였다.

3.3 Heating Pipes (HP) 사이의 간격

LHP와 UHP가 동일한 온도 (T_{HP})와 간격 (d_{HP})을 가질 때, T_{HP}와 HP 사이 간격의 최적값을 결정하려고 한다. 재료이송 위치에서 온도가 섭씨 1,300도에 가장 가깝고 최대 및 최저 온도와의 차이가 최소가 되도록 T_{HP}와 d_{HP}의 최적값을 결정하였다. 모두 6가지 경우를 고려하였다; d_{HP}=55.0, 60.0, 62.5, 65.0, 67.5, 70.0mm. 이들 경우에 T_{HP}의 값을 변화시키면서, 재료이송 위치에서의 온도가 섭씨 1,300도에 가장 가깝도록 하였다.



T_{HP}= 1,428 ° C, d_{HP} = 55.0 mm T_{HP}= 1,439 ° C, d_{HP} = 60.0 mm

T_{HP}= 1,428 ° C, d_{HP} = 62.5 mm T_{HP}= 1,397 ° C, d_{HP} = 65.0 mm

T_{HP}= 1,460 ° C, d_{HP} = 67.5 mm T_{HP}= 1,465 ° C, d_{HP} = 70.0 mm

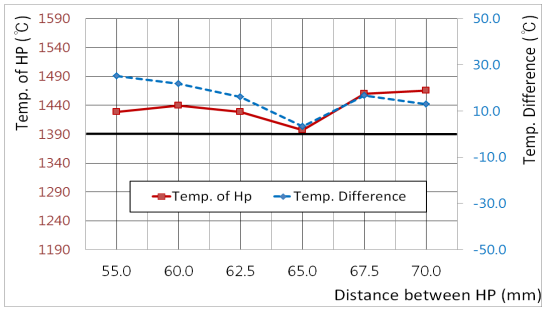
[Fig. 17] Temperature Distribution with Different Distances between Heating Pipes (HP)

재료이송 위치에서 등 간격으로 위치한 1,000개 노드에서의 온도 분포를 Fig. 17에서 도시하였다. 각각의 경우에 재료이송 위치에서의 평균온도와 최대 및 최소온도와의 차이를 Table 5와 Fig. 18에 정리하였다.

Fig. 18에 의하면, 재료이송 위치에서 온도를 섭씨 1,300도로 유지하기 위해서는 HP 사의의 간격 (d_{HP})이 증가하면 HP의 온도 (T_{HP})가 감소하다가, d_{HP}가 65.0mm 이상 증가하면 HP의 온도 (T_{HP})가 증가함을 알 수 있다. 즉 HP의 온도는 d_{HP}가 65.0mm 근방일 때 최소가 되고 재료이송 위치에서 최대 및 최소 온도와의 차이가 제일 작아 가장 경제적임을 알 수 있다. 이상의 결과를 바탕으로 d_{HP}가 65.0mm일 때가 가장 최적의 경우임을 알 수 있었다.

[Table 5] Temperature with Different d_{HP} and T_{HP}

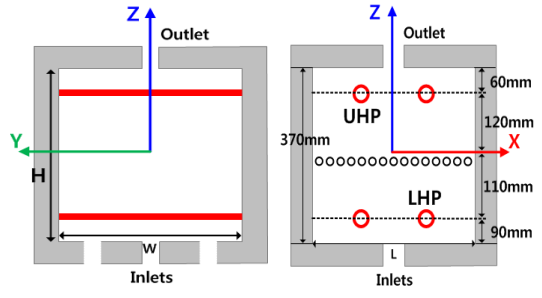
d_{HP}(mm)	T_{HP}(℃)	Temperature at Feeding Height (℃)			
		Max	Min	Difference	Average
55.0	1,428.4	1,321.3	1,296.3	25.1	1,306.0
60.0	1,439.3	1,306.9	1,285.1	21.8	1,294.5
62.5	1,428.2	1,300.0	1,283.8	16.2	1,291.1
65.0	1,397.3	1,301.2	1,297.8	3.4	1,300.1
67.5	1,460.3	1,310.9	1,294.3	16.6	1,301.4
70.0	1,465.7	1,308.8	1,295.8	13.0	1,301.7



[Fig. 18] T_{HP} and Difference between Maximum and Minimum Temperatures at Feeding Height of Materials with Different d_{HP}

3.4 체임버 설계 결과

3.1~3.3절의 과정을 따라서 설계된 체임버의 최종 형상을 Fig. 19에 도시하였다.



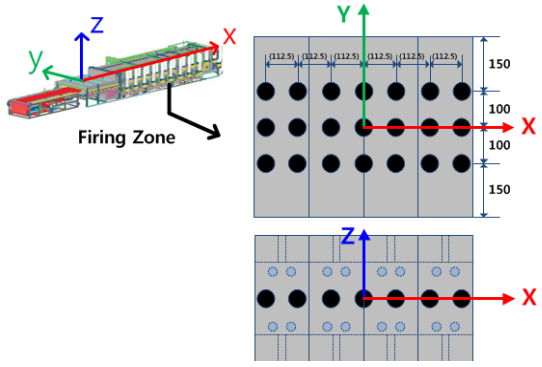
(a) Front View (b) Side view

[Fig. 19] Section Views of Designed Chamber

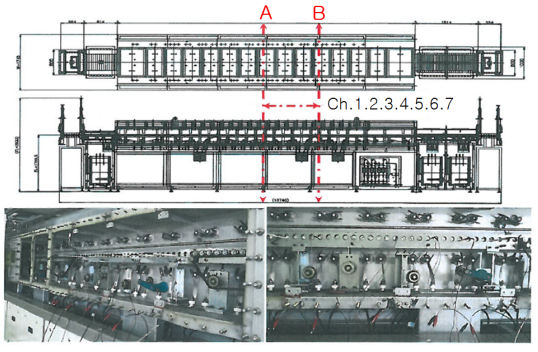
4. 체임버 내부 온도 측정 실험

Fig. 19의 설계 결과를 이용하여 MLCC 소성로의 체임버들을 제작하였다. 제작한 MLCC 소성로의 재료이송 위치에서의 온도를 측정하기 위해 소성구간에 속하는 4개의 체임버에 재료이송 방향 (x-축 방향)으로 7개의 위치에 재료이송과 수직한 방향 (y-축 방향)으로 각각 3개씩의 열전대를 설치하였다[Fig. 20]. 총 21개의 열전대를 설치하였다. Fig. 21에는 열전대가 장착된 소성로의 모습을 나타내었다. 열전대는 우진일렉트로나이트에서 제작하여 한국산업기술시험원에서 교정을 받은 제품을 사용하였다.

열전대 사이의 간격은 x-축과 y-축 방향으로 각각 112.5mm와 100mm의 등간격으로 설치하였다.



[Fig. 20] Locations of 21 Thermocouples

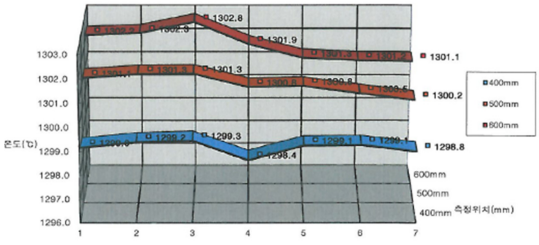


[Fig. 21] Furnace with Installed Thermocouples

열전대를 사용하여 측정한 결과를 Table 6과 Fig. 22에 정리하였다. 측정된 결과를 살펴보면 측정온도가 섭씨 1300.0±2.2도의 범위에 모두 들어감을 확인할 수 있었다. 즉, 실험을 통해서 측정한 온도가 재료이송 위치에서 설계된 온도와 매우 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

[Table 6] Measured Temperature at 21 Thermocouples

Thermocouple Location in x-axis	Thermocouple Location in y-axis		
	y=-100mm	y=0	y=100mm
Ch. 1	1299.0˚C	1301.1˚C	1302.2˚C
Ch. 2	1299.2˚C	1301.3˚C	1302.3˚C
Ch. 3	1299.3˚C	1301.3˚C	1302.8˚C
Ch. 4	1299.4˚C	1300.8˚C	1301.9˚C
Ch. 5	1299.1˚C	1300.8˚C	1301.3˚C
Ch. 6	1299.1˚C	1300.5˚C	1301.2˚C
Ch. 7	1298.8˚C	1300.2˚C	1301.1˚C



[Fig. 22] Measured Temperature at Thermocouples

5. 결 론

적층 세라믹 반도체(MLCC)는 20여개의 공정을 거쳐서 만들어 지는데, 이 중에서 소성공정은 섭씨 1300 도의 고온에서 이루어진다. 최종 제품의 품질을 높이기 위해서는 소성공정에서 균일한 온도를 유지하는 것이 핵심기술이다.

본 연구에서는 전산유체해석을 이용하여 소성공정에서 발생하는 이물질을 잘 배출하고 재료이송 위치에서 온도를 균일하게 유지할 수 있는 소성로 체임버의 설계를 하였다. 설계변수로는 흡기구와 배기구의 개수, 열원의 개수와 체임버의 높이, 열원의 온도와 열원 사이의 간격 등을 고려하였다.

설계의 정확도를 검증하기 위하여 소성로의 네 개 체임버에 모두 21개의 열전대를 설치하여 온도를 측정하였다. 21개의 열전대에서 측정된 온도는 모두 섭씨 1,300.0 ±2.2도의 범위에 들어갔으며 설계의 정확도를 확인할 수 있었다.

본 과정을 통하여 온도 분포의 균일도를 잘 충족하는 소성로 체임버를 설계함으로써 고품질의 MLCC를 제조할 수 있게 되었다.

References

[1] Jung-Rag Yoon, “Technology and Market Trend of the Multilayer Chip Capacitor,” Electronic Part EP & C, pp.58~65, 2006

[2] Giho Jeong, Changhwan Park and Jeonghoon Park, “The Numerical Analysis of Radiative Heat Transfer in the High- Temperature Kiln”, Proceedings of KSME 2006 Autumn Annual Meeting, The Korean Society of Mechanical Engineers, pp.1978~1982, 2006

[3] Min-Young Hwang, Jong-Woo Lee, Yong -Gyun Kim, Sang-hun Jeon, Youn-Han Chang and Chung-Hwan Jeon, “A Study of Furnace Modeling and Heat Analysis,” Proceedings of KSME 2008 Spring Annual Meeting, The Korean Society of Mechanical Engineers, pp.366~370, 2008

[4] E.K. Lee and C.W. Kim, “Thermo- Mechanical Analysis of MLCC for Residual Stress,” Proceedings of KSPE Spring Conference, Korean Society for Precision Engineering, pp.197~198, 2009

[5] D.S. Yoon, Y-S. Lee, Y. Lee, H.J. Cho, S.W. Sung, K.W. Oh, J. Cha and G. Lim, “Precise Temperature Control and Rapid Thermal Cycling in a Micromachined DNA Polymerase Chain Reaction Chip,” Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 12, pp.813~823, 2002
DOI: http://dx.doi.org/10.1088/0960-1317/12/6/312

[6] Kwangju Lee, Kyung-Seok Jeong and Sung Mun Park, “Improvement of the Uniformity of Temperature Distribution inside Semiconductor Test Equipment Chamber,” Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.11, No.10, pp.3626~3632, 2010
DOI: http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.10.3626

[7] ANSYS v12.0, Fluent, ICEM CFD, CFX-Post User's Manual

이 광 주(Kwangju Lee) **[정회원]**

- 1985년 2월 : 서울대학교 대학원 항공공학과 (공학석사)
- 1991년 11월 : Department of Aerospace and Ocean Eng., Virginia Polytechnic Institute and State University (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계공학부 교수

<관심분야>
구조역학, 복합재료, 신뢰성

최 준 혁(Joon Hyeok Choi) **[준회원]**

- 2012년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학부 (공학사)
- 2012년 2월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 공학석사 과정

<관심분야>
구조역학, FEM

장 한 슬(Han Seul Jang) **[준회원]**

- 2012년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학부 (공학사)
- 2012년 2월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 공학석사 과정

<관심분야>
구조역학, FEM, 복합재료