

## 강제배풍방법을 도입한 PCR장치에서 급랭속도를 높이는데 미치는 몇가지 인자들의 영향

김명룡, 박경범, 박성희

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학연구기관들과 과학자, 기술자들은 우리 나라의 실정에 맞고 나라의 경제발전에 이바지할수 있는 과학기술적문제를 더 많이 풀어야 하겠습니다.》(《김정일선집》 증보판 제13권 173페이지)

현재까지 강제배풍방법을 도입한 PCR(폴리메라제연쇄반응)장치에서 급랭속도를 높이는데 미치는 인자들의 영향[1-3]을 장치적인 견지에서 밝힌 연구자료는 보고된것이 없다.

우리는 장치외함의 옆면에 뚫어준 공기구멍들과 뒤면에 설치해주는 선풍기에 의한 강제배풍방법이 급랭시간에 미치는 영향과 급랭속도를 높이기 위한 단열재료의 도입효과 및 반응통선풍기의 기하학적 및 전기적정수값들의 영향 그리고 장치외함안의 온도증가에 미치는 강제배풍방법의 영향에 대한 연구를 하였다.

### 재료와 방법

강제배풍을 위한 실험재료로는 온도가 0~35℃인 주위공기를 그대로 리용하였으며 실험기구로는 자체로 설계제작한 공기순환방식의 PCR장치를 리용하였다.

예열통에서 발산되는 열에너지에 의하여 외함안의 공기온도가 주위온도보다 높아져 급랭속도가 떨어지므로 우리는 이 현상을 방지하기 위하여 장치외함의 옆면에 뚫어준 공기구멍들과 뒤면에 설치해주는 선풍기를 연결하는 흐름통로를 리용하여 가열된 공기를 외함밖으로 뿜아버리는 과정을 강제배풍방법이라고 하였다.

장치외함의 량쪽 옆면들에는 면적이 각각 5cm<sup>2</sup>인 10개의 구멍들을 뚫어주었으며 외함안의 가열된 공기를 밖으로 뿜아버리기 위하여 20L/min의 풍량을 가지는 선풍기를 뒤면에 설치하였다.

반응통안에 설치하는 선풍기는 공기온도가 100℃에서 연속적으로 3h이상 정상동작상태를 유지하여야 하므로 DC 12V를 리용하는 임펄스구동방식의 무솔식전동기를 리용하였으며 날개는 보호덮개가 있는것을 리용하였다.

시험관설치틀은 직경이 10cm이고 두께가 0.8mm인 원형철판에 6mm의 시험관설치구멍과 5mm의 배풍구멍을 뚫어서 리용하였다.

선풍기들의 구동전압과 전류를 측정하기 위하여 수자식회로시험기(《DT830B》)를 리용하였으며 반응통안의 온도는 200℃의 측정한계를 가지는 수은온도계와 한소편처리소자(PIC16F877)를 -55~150℃의 측정한계를 가지는 온도집적소자(LM35 또는 DS18B20)와 결합하여 리용한 전자온도계로 비교측정하였다.

급랭속도를 높이는데 미치는 주요인자들의 영향을 검토하기 위한 모든 실험들은 주위

공기온도가  $T_{\text{공}} < 10^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{공}} = 20^{\circ}\text{C}$ 인 온도범위에서 예열통안의 온도가  $110 \sim 115^{\circ}\text{C}$ 범위, 대기압( $1.01 \times 10^5 \text{pa}$ )조건에서 진행하였다.

실험에서 급랭속도의 변화는  $T_{\text{aq}}$ 폴리메라제효소가 가지고있는 안정성과 활성이 담보되는 유효시간의 견지에서 열변성온도인  $T_{\text{변}} = (94 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 로부터 대표적인 아닐링온도인  $T_{\text{아}} = (55 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 까지 낮추는데 걸리는 시간을 급랭시간으로 측정하고 계산하는 방법으로 결정하였다.

그러나 시간에 따르는 온도변화가 일정하지 않으므로 논문에서 소개한 급랭시간은 평균급랭시간을 의미한다.

① 급랭시간에 미치는 반응통과 예열통사이의 열차단을 위한 단열재료의 영향은 일반적인 모직천을 반응통을 구성하는 고정식안통의 안쪽 면과 바깥쪽 면에 따로따로 붙여놓고 측정하였다.

② 급랭시간에 미치는 반응용선풍기의 설치위치의 영향은 날개보호덮개가 있는 조건에서 반응통밑면으로부터 일정한 위치들에 고정하고 측정하였다.

③ 급랭시간에 미치는 반응용선풍기의 기하학적정수값의 영향은 날개의 최대너비가 2.5cm일 때 날개의 길이를 서로 다르게 고정하고 측정하였다.

④ 급랭시간에 미치는 반응용선풍기의 전기적정수값의 영향은 구동전압이 DC 12V일 때 구동전류가 서로 다른 전동기들로 각이하게 설정하고 측정하였다.

⑤ 주위온도변화에 따르는 장치외함안의 온도변화는 반응통의 뚜껑을 닫은 상태와 연 상태에서 각각 측정하였다.

⑥ 급랭시간에 미치는 장치외함의 영향은 주위온도를  $T_{\text{공}} < 10^{\circ}\text{C}$ 와  $T_{\text{공}} = 20^{\circ}\text{C}$ 인 범위에서 설정하고 측정하였다.

## 결과 및 논의

### 1) 급랭시간에 미치는 단열재료의 영향

급랭시간에 미치는 반응통과 예열통사이의 열차단을 위한 단열재료의 영향은 주위온도가  $T_{\text{공}} = 20^{\circ}\text{C}$ 에서 두께가 1mm이고 면적이 약  $5\text{cm} \times 30\text{cm}$ 인 일반모직천을 반응통을 구성하는 고정식안통의 안쪽 면과 바깥쪽 면에 원기둥면을 따라 따로따로 붙여놓고 측정하였다.(그림 1)

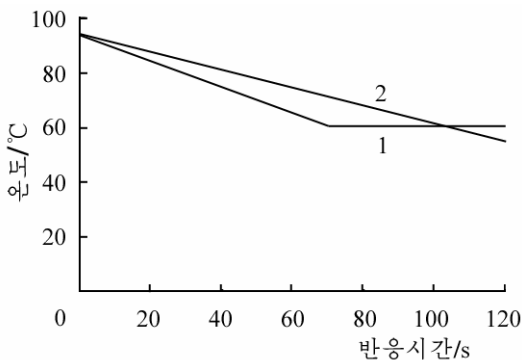


그림 1. 급랭시간에 미치는 단열재료의 영향

1-단열재료가 없는 경우, 2-단열재료가 있는 경우

그림 1에서 보는바와 같이 고정식안통의 안쪽 면과 바깥쪽 면에 단열재료를 씌우지 않았을 때에는 반응통의 온도가  $60^{\circ}\text{C}$ 까지밖에 떨어지지 않으며 이 온도까지의 급랭시간은 70s이다. 그러나 단열재료를 씌웠을 때에는 온도가  $55^{\circ}\text{C}$ 까지 떨어지기는 하지만 급랭시간이 120s로서 그 차이가 거의 50s로 매우 심하다는것을 보여준다.

이 결과는 우선 반응통이  $100^{\circ}\text{C}$ 이상의 항온발열체를 가지고있는 예열통안에 설치되어있다는 조건과 다음으로 반응통의 제작재료가 열전도가 매우 좋은 금속판으로 만들어졌기때문에 예열통과 접하고있는 창문이 닫겨있어도 높은 온도로 예열된 에너르기가 항상 반응통을 구성하고있는 열전도가 좋은 금속판쪽으로 전달되는데 그 원인이 있다고 논의할수 있다.

또한 시험관이 설치되는 고정식안통이 예열통안의 가열된 공기와 직접 닿아있지 않고 승강식바깥통과 1mm정도의 간격을 두고있지만 이것은 예열된 에너르기가 고정식안통안의 공기를 덥히기에는 충분하므로 급랭시간보장에 결정적인 영향을 준다는데 그 원인이 있다고 논의할수 있다.

따라서 급랭시간을 단축하기 위하여서는 반드시 고정식안통의 안쪽 면과 바깥쪽 면에 단열재료를 따로따로 씌워주어야 하며 또한 예열통을 구성하는 전체 바깥면에도 단열재료를 씌워주는것이 급랭효과를 더 높이기 위해 효과적이라는 결론을 찾을수 있다.

## 2) 급랭시간에 미치는 반응통선풍기의 설치위치의 영향

주위온도가  $T_{\text{공}}=20^{\circ}\text{C}$ 에서 날개보호덮개가 있는 경우 반응통밀면으로부터 공기창문들과 겹치지 않는 4, 5, 6cm인 위치에 선풍기를 설치하고 급랭시간변화를 측정하였다.(그림 2)

그림 2에서 보는바와 같이 반응통밀면으로부터 4cm인 위치에 선풍기를 설치할 때 반응통의 온도가  $60^{\circ}\text{C}$ 까지밖에 떨어지지 않으며 이 경우의 급랭시간은 58s이다. 그러나 반응통밀면으로부터 5, 6cm인 위치에 선풍기를 설치할 때에는 같은 온도까지 떨어지는 급랭시간이 65, 70s로서 그 차이가 7, 12s이며 설치위치가 낮을수록 상대적으로 급랭시간이 짧아진다는것을 알수 있다.

이 결과는 반응통선풍기의 설치위치를 반응통의 밀면으로부터 멀리 정할수록 예열통과는 상대적으로 가까워지고 예압통의 창문과 멀어지므로 랭각용주위공기의 흐름통로가 길어지기때문에 온도가 높아지는데 그 원인이 있다고 논의할수 있다.

따라서 급랭시간을 단축하기 위해 고정식안통에 설치되는 합리적인 반응통선풍기의 위치는 반응통밀면으로부터 예열통과 예압통의 공기창문들과 겹치지 않으면서도 제일 낮은 위치인 4cm인 높이에 고정해주는것이 효과적이라고 본다.

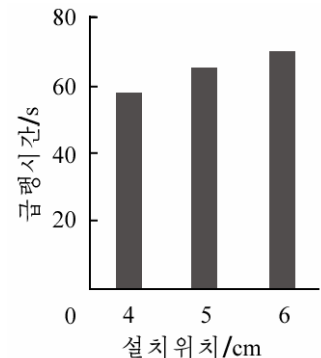


그림 2. 급랭시간에 미치는 반응통선풍기의 설치 위치의 영향

## 3) 급랭시간에 미치는 반응통선풍기의 날개길이의 영향

주위온도  $T_{\text{공}}=20^{\circ}\text{C}$ , 설치위치를 4cm로 고정 한 상태에서 선풍기날개의 길이를 8, 9cm로 변화시키면서 급랭시간변화를 측정하였다.(그림 3)

그림 3에서 보는바와 같이 날개길이가 9cm인 선풍기를 리용할 때에도 반응통의 온도가  $60^{\circ}\text{C}$ 까지밖에 떨어지지 않으며 이 경우의 급랭시간은 55s이다. 그러나 날개길이가 8cm인 선풍기를 리용할 때에는 같은 온도까지 떨어지는 급랭시간이 65s로서 그 차이가 거의 10s로 매우 심하며 날개길이가 클수록 상대적으로 급랭시간이 더 짧아진다는것을 보여준다.

이로부터 반응통의 직경과 거의 일치하는 9cm길이의 날개를 리용하면 최대공기흐름을 보장할수 있기때문에 급랭시간을 단축하는데 효과적이라고 본다.

#### 4) 급랭시간에 미치는 반응통선풍기의 전기적정수값의 영향

주위온도  $T_{\text{주}}=20^{\circ}\text{C}$ , 반응통선풍기의 날개길이를 9cm로 고정 한 상태에서 구동전압이 DC12V일 때 전동기의 구동전류를 0.15, 0.25, 0.6A로 각이하게 설정하고 급랭시간변화를 측정하였다.(그림 4)

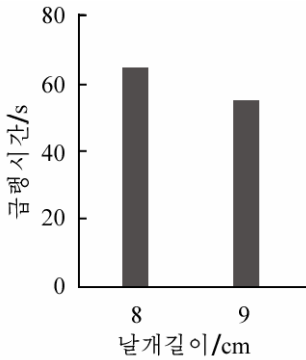


그림 3. 급랭시간에 미치는 반응통선풍기의 날개길이의 영향

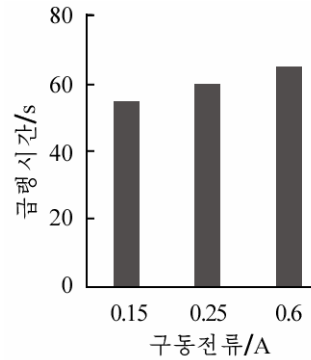


그림 4. 급랭시간에 미치는 반응통선풍기의 전기적정수값의 영향

그림 4에서 보는바와 같이 구동전류가 0.6A인 선풍기를 설치할 때 반응통의 온도가  $60^{\circ}\text{C}$  까지밖에 떨어지지 않지만 이 온도까지의 급랭시간은 55s이다. 그러나 구동전류가 0.25, 0.15A인 선풍기를 설치할 때에는 같은 온도까지 떨어지는 급랭시간이 60, 65s로서 그 차이가 거의 5, 10s로 심하며 구동전류가 클수록 상대적으로 급랭시간이 짧아진다는것을 보여준다.

이로부터 반응통선풍기의 날개길이가 큰 조건에서 구동전류가 클수록 회전속도가 커지고 풍량이 많아지므로 단위시간당 보다 많은 주위공기를 리용하여 반응통안에 대한 냉각작용을 한다는것을 알수 있다.

따라서 급랭시간을 단축하기 위한 합리적인 반응통선풍기의 전기적정수와 치수는 반응통의 직경에 가까운 날개길이를 가진 선풍기를 선정하는 조건에서 구동전류가 큰 전동기를 리용하는것이 효과적이라고 본다.

#### 5) 장치외함안의 온도증가에 미치는 강제배풍방법의 영향

실험장치의 설계와 제작에서 장치외함은 반드시 보장되어야 한다.

그런데 장치외함이 있는 경우 PCR장치의 내부에 있는 예열통의 열에너지발산에 의하여 장치외함안의 온도는 올라가게 되며 이 영향은 주위온도가 높아질수록 더 심해진다.

실험에서는 주위 온도변화에 따르는 장치외함안의 온도변화를 반응통의 뚜껑을 닫은 상태와 연 상태에서 측정하였다.(그림 5)

반응통의 뚜껑을 닫은 상태에서의 온도값은 예열전원을 넣은 후 예열통의 온도가 충분히  $110 \sim 115^{\circ}\text{C}$ 까지 도달하는데 필요한 60s후에 측정하

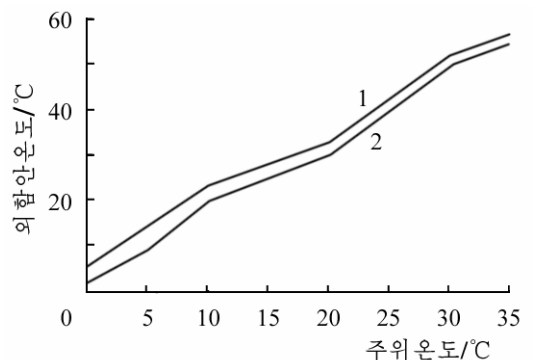


그림 5. 주위온도변화에 따르는 장치외함안의 온도변화  
1-뚜껑을 닫았을 때, 2-뚜껑을 열었을 때

였다. 또한 반응통의 뚜껑을 연 상태에서의 온도값은 우와 같은 조건에서 3s후에 측정하였다.

그림 5에서 보는바와 같이 장치외함안의 온도는 항상 주위온도보다 높다는것을 알수 있다. 실제로 주위온도가 10℃인 경우 외함안의 온도는 20℃로서 10℃나 더 높으며 주위온도가 35℃인 경우에는 외함안의 온도가 57℃로서 22℃나 더 높았다.

그 원인은 공기구멍을 통하여 들어오는 주위공기가 예열통의 열에너르기발산에 의해 보충적으로 가열될뿐아니라 장치외함바깥과 연결되는 통로가 없기때문에 증가된다고 볼 수 있다.

이 실험결과로부터 강제배풍방법에서는 랭각구멍을 통하여 들어오는 주위공기의 흐름 속도와 량에 비하여 예열통의 열에너르기발산에 의하여 보충적으로 가열되는 공기량이 더 많기때문에 장치외함바깥과 연결되는 통로인 반응통의 뚜껑이 열린다고 해도 외함안의 온도를 2~3℃정도밖에 떨구지 못한다는것을 알수 있다.

#### 6) 급랭시간에 미치는 장치외함의 영향

앞에서 얻은 합리적인 조건들을 보장하면서 급랭시간에 미치는 주위온도의 영향을  $T_{\text{공}}=8^{\circ}\text{C}$ 와  $T_{\text{공}}=20^{\circ}\text{C}$ 에서 장치외함이 있는 경우와 없는 경우를 따로따로 설정하고 측정하였다.

두 경우에 대하여 직관적인 비교를 하기 위하여 2개의 그래프에 대한 가로축과 세로축의 자리표를 서로 일치시켜 시간-온도변화관계그래프를 작성하였다.(그림 6)

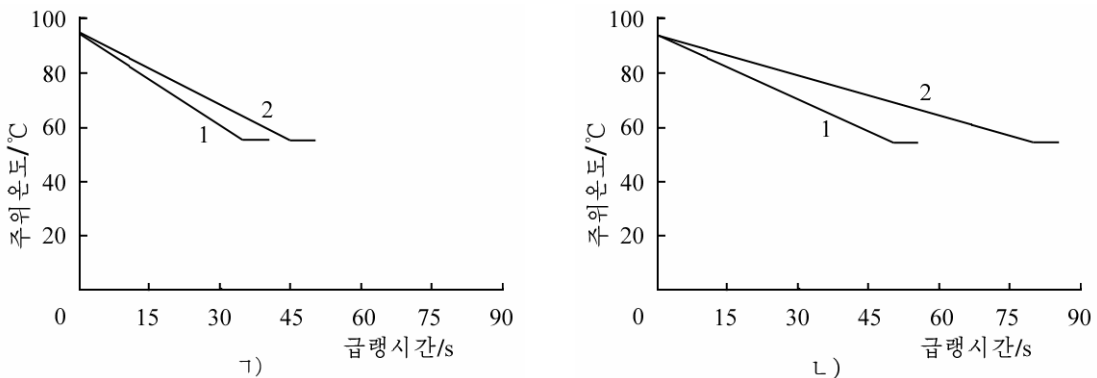


그림 6. 주위온도가 급랭시간에 미치는 영향

가)  $T_{\text{공}}=8^{\circ}\text{C}$ , 나)  $T_{\text{공}}=20^{\circ}\text{C}$ ; 1-외함이 없는 경우, 2-외함이 있는 경우

그림 6에 표시된 실험결과를 론의하면 다음과 같다.

주위온도가  $T_{\text{공}}=8^{\circ}\text{C}$ 일 때 장치외함이 있는 경우와 없는 경우의 급랭시간차이는 약 10s 정도이며  $\pm 5\text{s}$ 범위내에서는 합리적인 급랭시간범위에 겨우 들어간다. 이것은 주위온도가 낮을 때에는 모든 경우에 다 급랭시간보장이 가능하며 합리적인 급랭시간범위에 가깝게 접근한다는것을 보여준다. 다시말하여 주위공기의 온도가 낮을 때에도 장치외함안의 온도가 20℃로 증가되어 주위온도보다 10℃정도 더 높아지지만 반응통의 온도를 합리적인 급랭시간범위로 낮추는데는 강제흐름통로인 공기구멍들을 통해서도 실현할수 있다는것을 보여준다.

그러나 주위온도가  $T_{\text{공}}=20^{\circ}\text{C}$ 일 때 장치외함이 있는 경우와 없는 경우의 급랭시간의 차이는 약 30s정도이지만 두 경우 합리적인 급랭시간범위( $35 \pm 5^{\circ}\text{C}$ )에 들어가지 못한다. 이것은

주위온도가 아닐링온도보다 낮기때문에 반응통의 랭각이 원리적으로는 가능하지만 예열통의 온도가 매우 높기때문에 초래되는 결과라고 볼수 있다. 즉 장치외함결면에 아무리 많은 구멍을 뚫어주어 주위공기가 강제적으로 흐를수 있게 만들어주었다고 해도 공기조종블록안에 있는 예열통이 100℃이상의 항온발열체를 가지고있기때문에 장치외함안의 평균온도는 30℃이상으로서 주위온도보다 10℃이상 더 높아지게 되며 따라서 합리적인 급랭시간보장에 결정적인 지장을 준다는것을 보여준다.

이와 같은 영향은 주위온도가 높아질수록 더 크게 작용하므로 강제배풍방법에서 장치외함은 합리적인 급랭시간보장을 위한 공기흐름에 큰 지장으로 된다는것을 알수 있다.

이로부터 우리는 장치외함이 있는 경우 강제배풍방법을 도입하여 설계제작된 PCR장치를 리용하려면 주위공기의 온도가  $T_{\text{공}} < 10^{\circ}\text{C}$ 인 동작조건을 설정하여야만 합리적인 급랭시간을 보장할수 있다는 결론을 얻게 되었다.

## 맺 는 말

단열재료를 반응통내부와 예열통의 바깥면에 붙여준 경우 합리적인 급랭시간보장을 위하여 필요한 반응통선풍기의 정수값들은 설치위치 4cm, 날개길이 9cm, 구동전류 0.6A이다.

강제배풍방식에서 장치외함이 있는 경우 합리적인 급랭시간보장을 위한 필요한 주위공기의 온도범위는  $T_{\text{공}} < 10^{\circ}\text{C}$ 이다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. P. Wilkes et al.; Journal of Virological Methods, 220, 35, 2015.
- [2] J. Hodgetts et al.; Plant Pathology, 64, 559, 2015.
- [3] 福原健志; 日本国特許(JP), 特開2003-101974(P2003-101974A), 2003.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

## The Effect of Several Factors on Increasing Rapid Cooling Speed in Polymerase Chain Reaction Device of Forced-Ventilation Method

*Kim Myong Ryong, Pak Kyong Bom and Pak Song Hui*

When the adiabatic material was attached, the electric parameters of reactive box fan, a fixing position is 4cm, the fan is 9cm long and the intensity of drivable electric current is 0.6A. Range of vicinity temperature( $T_{\text{air}}$ ) is small than  $10^{\circ}\text{C}$  in outer box using forced-ventilation method.

Key word: PCR