

DOI:10.22144/ctu.jvn.2020.031

## MÔ HÌNH HÓA KIỂM SOÁT ĐỒNG NHẤT NHIỆT ĐỘ SẢN PHẨM ĐỒ HỘP TRONG QUÁ TRÌNH THANH TRÙNG

Nguyễn Đức Toàn<sup>1\*</sup>, Võ Minh Hoàng<sup>1</sup> và Võ Tấn Thành<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Nông nghiệp - Thủy sản, Trường Đại học Trà Vinh

<sup>2</sup>Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ

\*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Đức Toàn (email: ndtoan@tvu.edu.vn)

### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 20/11/2019

Ngày nhận bài sửa: 29/02/2020

Ngày duyệt đăng: 29/04/2020

### Title:

Data based modeling approach for control of uniform temperature cans in pasteurization process

### Từ khóa:

Chế biến nhiệt, đồng nhất nhiệt độ, mô hình hóa, phân bố nhiệt

### Keywords:

Modeling, thermal processing, temperature uniformity, temperature distribution

### ABSTRACT

Uniforming product temperature when pasteurizing is a matter that needs to be controlled to ensure safety and quality. In this study, a data-based mechanistic modeling approach was used for controlling the three-dimensional temperature uniform of the product during the pasteurization process. The flow rates were varied between 0,6-1,8 m<sup>3</sup>/hour. In each experiment at a specific flow rate, the inlet temperature was adjusted from 35 to 60°C. During the experiment, 20 sensors for hot water in the equipment and 18 sensors for inside cans were recorded by datalogger Keithley 2700. The 231 cans containing 2,5% CMC were used in this research. The simplified refined instrument variable (SRIV) algorithm was used as the model parameter identification tool to obtain the best model order and parameters. A third-order transfer function from the dynamic response of product temperature from hot water with a high coefficient of determination and a low standard error explained the heat exchange in a system. The measured data and the model providing a physically meaningful parameter related to a heat transfer coefficient from hot water to products could be used for online controlling of the temperature distribution of products in the pasteurization equipment.

### TÓM TẮT

Đồng nhất nhiệt độ sản phẩm khi thanh trùng là vấn đề cần phải kiểm soát để đảm bảo an toàn và chất lượng. Trong nghiên cứu này, mô hình hộp đen chứa tham số vật lý có ý nghĩa (DBM) được sử dụng để kiểm soát đồng nhất nhiệt độ sản phẩm trong quá trình thanh trùng. Thí nghiệm “bước” được thực hiện bằng cách thay đổi nhiệt độ môi trường gia nhiệt từ 35-60°C cho 231 lon dung dịch carboxymethyl cellulose (CMC) 2,5%, kết hợp thay đổi lưu lượng bơm từ 0,6-1,8 m<sup>3</sup>/giờ. Trong suốt thí nghiệm, dữ liệu của 20 cảm biến đo nhiệt độ môi trường nước trong thiết bị và 18 cảm biến đo nhiệt độ sản phẩm được ghi nhận liên tục bởi datalogger Keithley 2700. Thuật toán SRIV tích hợp trong công cụ Captain toolbox của Matlab được sử dụng để tính toán các tham số và lựa chọn mô hình. Hàm truyền bậc ba phát triển từ quan hệ trao đổi nhiệt giữa nhiệt độ môi trường ngõ vào của thiết bị và nhiệt độ sản phẩm có hệ số tương quan cao, sai số thấp có chứa tham số liên quan hệ số truyền nhiệt bề mặt. Đồng dạng hàm truyền thu được tham số vật lý  $\alpha$  có chứa hệ số truyền nhiệt bề mặt thể hiện sự phân bố nhiệt độ của sản phẩm. Biểu diễn phân bố tham số  $\alpha$  trong không gian ba chiều là cơ sở để điều chỉnh thiết kế hoặc thiết kế hệ thống điều khiển đồng nhất nhiệt độ sản phẩm.

Trích dẫn: Nguyễn Đức Toàn, Võ Minh Hoàng và Võ Tấn Thành, 2020. Mô hình hóa kiểm soát đồng nhất nhiệt độ sản phẩm đồ hộp trong quá trình thanh trùng. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 56(2B): 59-67.

## 1 GIỚI THIỆU

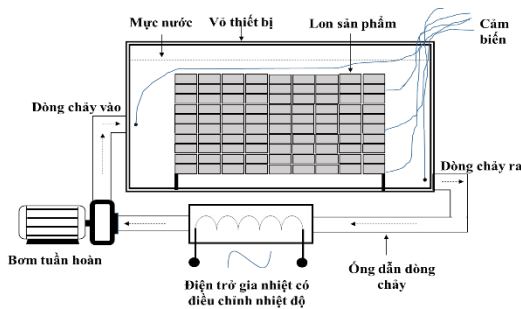
Đồng nhất nhiệt độ và các điều kiện truyền nhiệt trong thiết bị thanh trùng là yếu tố quan trọng trong việc áp dụng thành công các phương pháp bảo quản để tạo ra sản phẩm thực phẩm an toàn và chất lượng cao (Smout *et al.*, 2001). Sự không đồng nhất nhiệt độ môi trường của thiết bị thanh trùng trong quá trình gia nhiệt có thể đạt đến 10°C (Smout *et al.*, 1997) và thời gian chết nhiệt của sản phẩm (F-value) cũng không đồng nhất trong thiết bị thanh trùng (Smout *et al.*, 2000). Khác biệt nhiệt độ sản phẩm trong quá trình thanh trùng là 1°C sẽ làm cho thời gian chết nhiệt (F-value) khác nhau 25% Lewis, 2006). Các nghiên cứu của Thanh *et al.* (2007, 2008) trong môi trường kho bảo quản, của Lê Thị Hoa Xuân và Võ Tấn Thành (2011) trong thiết bị thanh trùng đã chứng minh không thể có đồng nhất nhiệt độ sản phẩm trong không gian ba chiều của thiết bị, mà chỉ có thể chấp nhận đồng nhất nhiệt độ sản phẩm với một mức khác biệt nhiệt độ nào đó so với nhiệt độ trung bình của một vùng sản phẩm, muốn làm đồng nhất nhiệt độ sản phẩm cần phải sử dụng mô hình để kiểm soát phân bố hệ số truyền nhiệt bề mặt. Nghiên cứu của Lê Thị Hoa Xuân và Võ Tấn Thành (2011) với phương pháp sử dụng mô hình hộp đen chứa tham số vật lý có ý nghĩa “Data based mechanistic” (DBM) trong kiểm soát đồng nhất

nhiệt độ sản phẩm khi thanh trùng, kết quả nghiên cứu cho ra hàm truyền bậc 1 thể hiện mối quan hệ giữa nhiệt độ môi trường bề mặt của sản phẩm với nhiệt độ tâm của sản phẩm. Do đó, hàm truyền chỉ thực hiện điều khiển kiểm soát làm đồng nhất nhiệt độ sản phẩm thông qua dữ liệu ghi nhận nhiệt độ môi trường tại bề mặt. Trong nghiên cứu này, giải pháp sử dụng mô hình DBM nhằm phát triển mở rộng hàm truyền biểu thị mối quan hệ giữa nhiệt độ môi trường tại ngõ vào của thiết bị thanh trùng với nhiệt độ tâm của sản phẩm khi thay đổi lưu lượng bơm trong thiết bị thanh trùng. Qua đó, sử dụng hàm truyền kiểm soát hệ số truyền nhiệt bề mặt trong quá trình gia nhiệt sản phẩm từ một vị trí ghi nhận nhiệt độ môi trường ở ngõ vào của thiết bị và điều khiển đồng nhất nhiệt độ tâm sản phẩm với một mức khác biệt nhiệt độ chấp nhận.

## 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Hệ thống thiết bị thí nghiệm

Thiết bị thanh trùng tự thiết kế với kích thước 600 mm x 400 mm x 500 mm sử dụng lớp cách nhiệt dày 20 mm. Hệ thống bơm nước có công suất 125 W, có thể điều chỉnh lưu lượng khảo sát từ 0,6-1,8 m<sup>3</sup>/giờ. Hệ thống gia nhiệt kiểm soát nhiệt độ cho phép điều chỉnh nhiệt độ khảo sát từ 35°C lên 60°C có công suất 4 kW (Hình 1a, Hình 1b).



(a) hình mô phỏng cấu tạo thiết bị



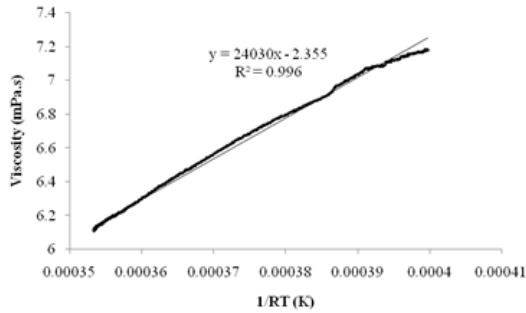
(b) ảnh thật hệ thống thiết bị

Hình 1: Hệ thống thiết bị thanh trùng trong thí nghiệm

### 2.2 Bố trí cảm biến nhiệt độ

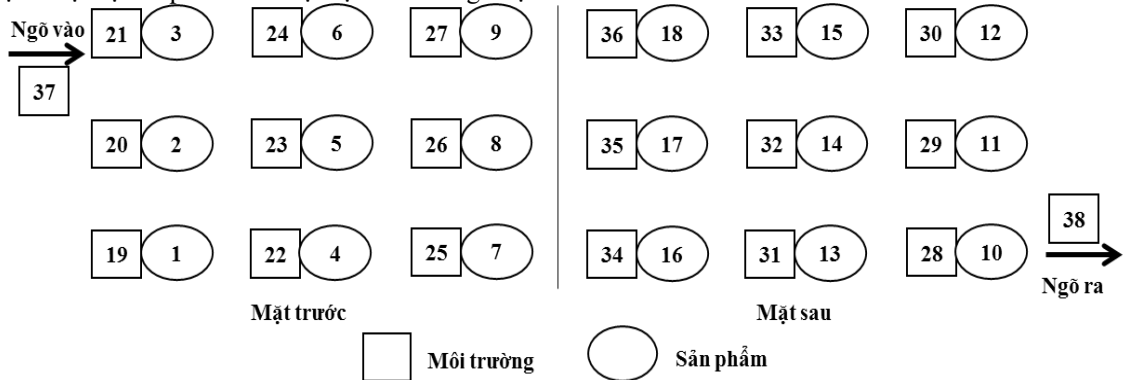
Thí nghiệm sử dụng 231 lon (53 mm x 130 mm) dung dịch carboxymethyl cellulose (CMC) 2,5% (xuất xứ Trung Quốc) nhằm tạo sản phẩm có tính đồng nhất, ổn định, mô phỏng cho sản phẩm thí nghiệm. Đặc tính thay đổi độ nhớt ổn định theo nhiệt độ là minh chứng cho tính ổn định trong quá trình truyền nhiệt vào sản phẩm (Hình 2). Đồ thị Hình 2 là kết quả tính toán mối quan hệ độ

nhớt theo nhiệt độ từ phương trình Arrhenius  $\mu = A \cdot \exp(E_a / R \cdot T)$  dữ liệu đo đạc từ nhớt kế Viscometer-SV10. Trong đó,  $\mu$ : Độ nhớt của dung dịch ở nhiệt độ T;  $E_a$ : Năng lượng hoạt hóa (kJ.mol<sup>-1</sup>); R: Hằng số khí lý tưởng (8,314 J.mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>); T: Nhiệt độ của dung dịch theo thời gian (K); A: Hằng số.

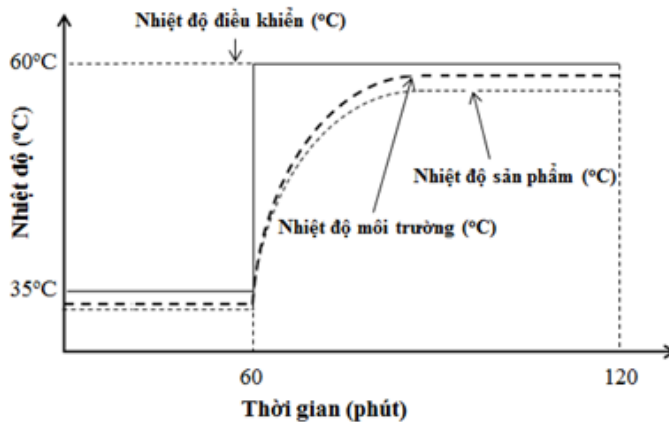


**Hình 2: Thay đổi độ nhớt của dung dịch CMC 2,5% theo nhiệt độ**

Sản phẩm được xếp khối 11×07×03 (lon). Dữ liệu nhiệt độ sản phẩm và nhiệt độ môi trường được



**Hình 3: Sơ đồ bố trí cảm biến nhiệt độ trong không gian ba chiều của thiết bị**



**Hình 4: Biểu diễn thí nghiệm “bước” nhiệt độ**

**2.3 Mô hình hộp đen chứa tham số vật lý có ý nghĩa (DBM)**

Mô hình hộp đen DBM là mô hình thu nhận từ dữ liệu động học của quá trình khảo sát và chỉ xem là có thể sử dụng khi tìm được ít nhất một tham số có ý nghĩa vật lý chứa trong mô hình (Hình 5).

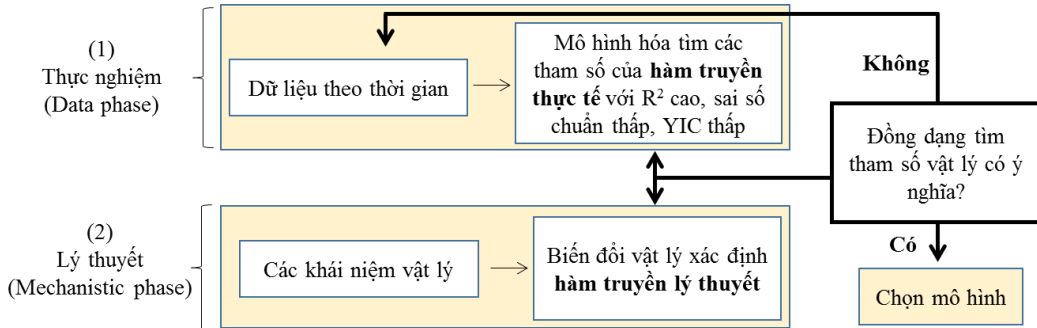
ghi nhận bằng cảm biến nhiệt độ loại T (hiệu Omega, Mỹ) độ chính xác ± 0,01°C, 18 cảm biến đo nhiệt độ tâm sản phẩm; 18 cảm biến đo nhiệt độ tại bề mặt sản phẩm, 02 cảm biến đặt tại vị trí bơm nước vào và ra của thiết bị (Hình 3). Cảm biến được bố trí theo ma trận không gian 3×3×2 và kết nối tín hiệu với datalogger Keithley 2700.

Lưu lượng bơm nước tuần hoàn được khảo sát từ 0,6-1,8 m<sup>3</sup>/giờ, đồng thời thay đổi “bước” nhiệt độ môi trường từ 35°C lên 60°C. Thời gian giữ nhiệt ở mỗi “bước” nhiệt độ là 60 phút. Dữ liệu nhiệt độ được ghi nhận liên tục với khoảng cách thời gian là 10 giây (Hình 4).

Thuật toán simplified refined instrumental variable (SRIV) được sử dụng tính toán các tham số của hàm truyền dạng liên tục, với ưu điểm có thể tính toán hàm truyền liên tục từ các dữ liệu không liên tục, các tham số trong hàm truyền được lựa chọn chính xác và có khả năng tối ưu hóa nhằm làm giảm

các bậc của phương trình trong hàm truyền (Young, 2011). Thuật toán (SRIV) được tính thông qua hàm RIVC tích hợp trong Captain toolbox của Matlab (<http://www.es.lancs.ac.uk/cres/captain/>).

Hàm truyền tốt nhất được chọn trên cơ sở  $R^2$  cao, sai số chuẩn (SE) thấp, hệ số young identification criterion (YIC) thấp và yếu tố bậc của hàm truyền (Young, 2002).



**Hình 5: Phương pháp mô hình hóa sử dụng mô hình hộp đen DBM**

**3 KẾT QUẢ THẢO LUẬN**

**3.1 Hàm truyền lý thuyết chứng minh từ các phương trình truyền nhiệt**

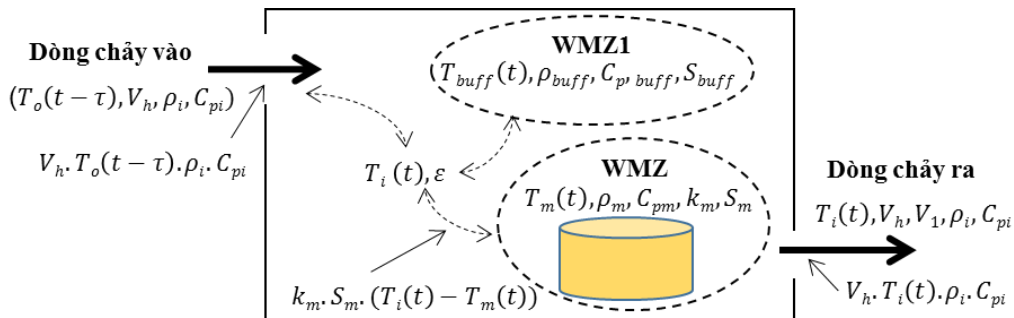
Trong trường hợp thanh tròn, giả sử đồng nhất nhiệt độ sản phẩm với khác biệt nhiệt độ chấp nhận, nhiệt dung riêng của sản phẩm ít thay đổi theo nhiệt độ. Quá trình truyền nhiệt từ một vùng đồng nhất của môi trường đến bên trong lon sản phẩm (Hình 6) được cân bằng năng lượng tổng quát qua phương trình (1):

$$\begin{aligned} \frac{dT_i(t)V_i\rho_iC_{p,i}}{dt} = & V_hT_o(t-\tau)\rho_oC_{p,o} \\ & - V_hT_i(t)\rho_iC_{p,i} \\ & + nk_mS_m(T_m(t)-T_i(t)) \\ & + k_1S_1(T_{buff}(t)-T_i(t)) \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó,  $T_i(t)$ : là nhiệt độ môi trường nước trong thiết bị (°C),  $T_o(t-\tau)$ : là nhiệt độ nước sau khi gia nhiệt đi vào thiết bị (°C),  $T_m(t)$ : là nhiệt độ tâm sản phẩm (°C),  $T_{buff}(t)$ : là nhiệt độ vùng đồng nhất môi trường trong thiết bị WMZ1 (°C);

$C_{p,o}, C_{p,i}$  nhiệt dung riêng của môi trường nước và của môi trường nước trong vùng WMZ (J/kg.°C);  $\rho_o, \rho_i$  khối lượng riêng của môi trường nước (kg/m<sup>3</sup>);  $k_m$ : hệ số truyền nhiệt bề mặt giữa vùng WMZ1 và WMZ (W/m<sup>2</sup>.°C);  $k_1$ : hệ số truyền nhiệt bề mặt giữa môi trường nước trong thiết bị với vùng WMZ1 (W/m<sup>2</sup>.°C);  $S_m$ : diện tích vùng WMZ và WMZ1 (m<sup>2</sup>);  $S_1$ : diện tích vùng WMZ1 và môi trường (m<sup>2</sup>); n: số lượng sản phẩm (lon)

Giả sử khối lượng riêng, nhiệt dung riêng của môi trường gia nhiệt ở ngõ vào và ra của thiết bị bằng nhau ( $\rho_o = \rho_i = \rho$ ;  $C_{p,o} = C_{p,i} = C_p$ ). Trong thiết bị với thể tích vùng đồng nhất WMZ (V), thể tích của nước vào thiết bị ( $V_i$ ), thể tích lon sản phẩm ( $V_m$ ), độ rỗng của sản phẩm ( $\epsilon$ ). Lon sản phẩm có đường kính (d) chiều cao (h), diện tích bề mặt hình trụ được tính:  $S_m = (\pi d^2)/2 + \pi dh$ . Thể tích ( $V_i$ ) liên quan đến (V) và độ rỗng ( $\epsilon$ ) trong vùng đồng nhất “well mixed zone” (WMZ) được xác định:  $V - V_i = \left(\frac{1-\epsilon}{\epsilon}\right)V_i = n.V_m = n.h.\frac{\pi d^2}{4}$



**Hình 6: Quá trình trao đổi nhiệt trong các vùng đồng nhất của thiết bị**

Tương ứng:

$$\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right)V_i = nh \frac{\pi d^2}{4} = n\pi d \left(\frac{d}{2} + h\right) \left(\frac{dh}{2d+2h}\right) \quad (2)$$

$$= nS_m \left(\frac{dh}{2d+2h}\right)$$

Hoặc:  $nS_m = \frac{2(1-\varepsilon)(d+h)V_i}{\varepsilon dh}$  (3)

Phương trình (1) có thể viết lại:

$$\frac{dT_i(t)}{dt} = \frac{V_h}{V_i} T_o(t-\tau) - \frac{V_h}{V_i} T_i(t) + \frac{nk_m S_m}{\rho V_i C_p} (T_m(t) - T_i(t)) + \frac{k_1 S_1}{\rho V_i C_p} (T_{buff}(t) - T_i(t)) \quad (4)$$

Thế phương trình (3) vào (4):

$$\frac{dT_i(t)}{dt} = \frac{V_h}{V_i} T_o(t-\tau) - \frac{V_h}{V_i} T_i(t) + k_m \left[ \frac{2(1-\varepsilon)(d+h)V_i}{\varepsilon dh} \right] (T_m(t) - T_i(t)) + \frac{k_1 S_1}{\rho V_i C_p} (T_{buff}(t) - T_i(t)) \quad (5)$$

Quá trình trao đổi nhiệt ở vùng đồng nhất (WMZ1) môi trường trong thiết bị:

$$\frac{dT_{buff}(t)}{dt} = \frac{k_1 S_1}{\rho V_{buff} C_p} (T_{buff}(t) - T_i(t)) \quad (6)$$

Quá trình truyền nhiệt từ môi trường đến vùng đồng nhất (WMZ) của sản phẩm:

$$\frac{dT_m(t)}{dt} = \frac{k_m S_m}{m C_{p,m}} (T_i(t) - T_m(t)) \quad (7)$$

Với  $m = \rho_m V_m$ ,  $nV_m = nS_m \left(\frac{dh}{2d+2h}\right)$  phương trình (7) trở thành:

$$\frac{dT_m(t)}{dt} = \frac{2k_m(d+h)}{dh\rho_m C_{p,m}} (T_i(t) - T_m(t)) \quad (8)$$

Đặt  $\beta = \frac{V_h}{V_i}$ ;  $K_m = k_m \left[ \frac{2(1-\varepsilon)(d+h)V_i}{\varepsilon dh} \right]$ ;

$K_1 = \frac{k_1 S_1}{\rho V_{buff} C_p}$ ,  $\alpha = \frac{2k_m(d+h)}{dh\rho_m C_{p,m}}$  phương trình (5),

(6), (8) trở thành:

$$\frac{dT_i(t)}{dt} = \beta T_o(t-\tau) - \beta T_i(t) + K_m (T_m(t) - T_i(t)) + K_1 (T_{buff}(t) - T_i(t)) \quad (9)$$

$$\frac{dT_{buff}(t)}{dt} = K_1 (T_i(t) - T_{buff}(t)) \quad (10)$$

$$\frac{dT_m(t)}{dt} = \alpha (T_i(t) - T_m(t)) \quad (11)$$

Với  $\alpha = \frac{2k_m(d+h)}{dh\rho_m C_{p,m}}$  định nghĩa là tốc độ gia nhiệt từ môi trường vào sản phẩm (1/giây).

Trong trạng thái truyền nhiệt ổn định phương trình (9), (10), (11) viết lại:

$$0 = \beta \bar{T}_o - (\beta + K_m + K_1) \bar{T}_i + (K_m) \bar{T}_m + (K_1) \bar{T}_{buff} \quad (12)$$

$$0 = K_1 \bar{T}_i - K_1 \bar{T}_{buff} \quad (13)$$

$$0 = \alpha \bar{T}_i - \alpha \bar{T}_m \quad (14)$$

Trong đó,  $\bar{T}_o$ : nhiệt độ ngõ vào ở trạng thái ổn định (°C);  $\bar{T}_i$ : nhiệt độ môi trường trạng thái ổn định (°C);  $\bar{T}_m$ : nhiệt độ sản phẩm ở trạng thái ổn định (°C);  $\bar{T}_{buff}$ : nhiệt độ môi trường ở vùng WMZ1 trong trạng thái ổn định (°C)

Khi thay đổi nhiệt độ rất nhỏ so với nhiệt độ ở trạng thái ổn định, lấy phương trình (9) trừ (12), (10) trừ (13), (11) trừ (14) và đặt  $t_o(t-\tau) = T_o(t-\tau) - \bar{T}_o$ ,  $t_i(t) = T_i(t) - \bar{T}_i$ ,  $t_m(t) = T_m(t) - \bar{T}_m$ ,  $t_{buff}(t) = T_{buff}(t) - \bar{T}_{buff}$  thu được:

$$\frac{dt_i(t)}{dt} = \beta t_o(t-\tau) - (\beta + K_m + K_1) t_i(t) + K_m t_m(t) + K_1 t_{buff}(t) \quad (15)$$

$$\frac{dt_{buff}(t)}{dt} = K_1 (t_i(t) - t_{buff}(t)) \quad (16)$$

$$\frac{dt_m(t)}{dt} = \alpha (t_i(t) - t_m(t)) \quad (17)$$

Trong đó,  $t_o(t-\tau)$ : biến đổi nhiệt độ môi trường nước vào thiết bị so với trạng thái ổn định (°C);  $t_i(t)$ : biến đổi nhiệt độ môi trường so với trạng thái ổn định (°C);  $t_m(t)$ : biến đổi nhiệt độ sản phẩm so

với trạng thái ổn định (°C);  $t_{buff}(t)$ : biến đổi nhiệt độ môi trường vùng WMZ1 so với trạng thái ổn định (°C).

Lấy Laplace với  $s = \frac{d}{dt}$  biến đổi phương trình (15), (16), (17):

$$t_i(t) = \frac{\beta}{s + \beta + K_m + K_1} t_o(t - \tau) + \frac{K_m}{s + \beta + K_m + K_1} t_m(t) + \frac{K_1}{s + \beta + K_m + K_1} t_{buff}(t) \tag{18}$$

$$t_{buff}(t) = \frac{K_1}{s + K_1} t_i(t) \tag{19}$$

$$t_i(t) = \frac{s + \alpha}{\alpha} t_m(t) \tag{20}$$

Đặt  $\gamma = \beta + K_m + K_1$ , thế phương trình (19), (20) vào (18) rút gọn được hàm truyền lý thuyết (21) thể hiện mối quan hệ truyền nhiệt từ ngõ vào môi trường truyền nhiệt trong thiết bị thanh trùng đến vùng đồng nhất của sản phẩm với các giả sử tương ứng.

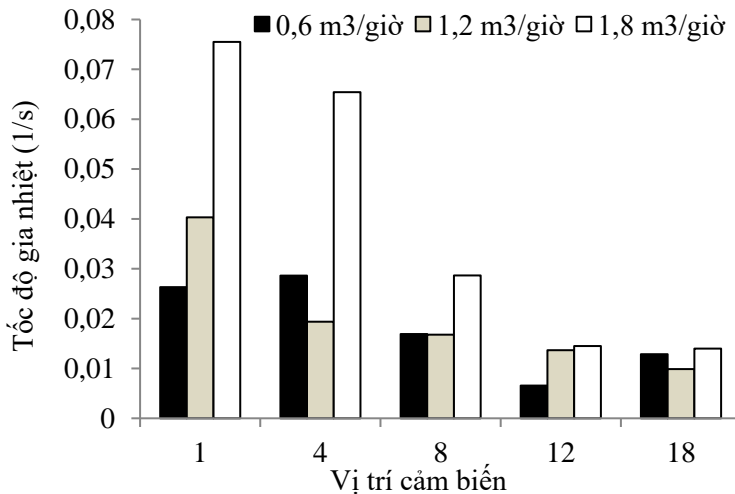
$$t_i(t) = \frac{b_0 s^2 + b_1 s + b_2}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3} t_o(t - \tau) \tag{21}$$

Trong đó,  $a_1 = K_1 + \alpha + \gamma$ ;  
 $a_2 = \alpha K_1 + \gamma K_1 + \alpha \gamma - \alpha K_m - K_1 K_m$ ;  
 $a_3 = \alpha \gamma K_1 - 2\alpha K_1 K_m$ ;  
 $b_0 = \beta; b_1 = \beta K_1 + \alpha \beta; b_2 = \alpha \beta K_1$

Khi xác định được các tham số trong mô hình sẽ cho phép tính toán được giá trị tốc độ gia nhiệt  $\alpha$  (1/s).

### 3.2 Hàm truyền thực tế, mô hình hộp đen DBM

Dữ liệu tính toán các mô hình hàm truyền từ 18 vị trí cảm biến nhiệt độ tâm sản phẩm được thực hiện qua thuật toán SRIV tích hợp trong công cụ Matlab. Hàm truyền tốt nhất được chọn trên cơ sở  $R^2$  cao, sai số chuẩn (SE) thấp, hệ số YIC thấp và yếu tố bậc của hàm truyền (Young, 2002). Mô hình hàm truyền bậc [2-3] được chọn do có chỉ số YIC thấp hơn hàm truyền bậc [1-3]. Bên cạnh đó, mức độ sai số của hàm truyền bậc [2-3] là thấp hơn hàm truyền bậc [1-3] nên kết quả phỏng đoán nhiệt độ sản phẩm từ nhiệt độ môi trường sẽ chính xác cao hơn, dữ liệu mô hình được trình bày đại diện tại hai vị trí cảm biến 1 và 14 lưu lượng bơm 1,2 m<sup>3</sup>/giờ (Bảng 1).



Hình 7: Tính toán tham số tốc độ gia nhiệt  $\alpha$  (1/giây) từ mô hình

Đồng dạng hàm truyền bậc [2-3] với hàm truyền lý thuyết (21) thu được các tham số từ mô hình  $b_0 = \beta; b_1 = \beta K_1 + \alpha \beta; b_2 = \alpha \beta K_1$ , từ các tham số

thu được của mô hình cho phép tính toán tốc độ gia nhiệt  $\alpha$  từ hàm truyền lý thuyết tại các vị trí cảm biến (Hình 7).



**Bảng 1: Tính toán hàm truyền bậc [1-3] và bậc [2-3] đại diện ở vài vị trí cảm biến đại diện tại lưu lượng bơm 1,2 m<sup>3</sup>/giờ**

Vị trí	Bậc hàm truyền [m, n, τ]	Các tham số trong hàm truyền	R <sup>2</sup>	SE	Hệ số YIC
1	[1, 3, 10]	a <sub>1</sub> = 0,023220 a <sub>2</sub> = 0,000264 a <sub>3</sub> = 0,000005 b <sub>0</sub> = 0,000194 b <sub>1</sub> = 0,000006	0,9997	0,0202	-13,6136
	[2, 3, 10]	a <sub>1</sub> = 0,023020 a <sub>2</sub> = 0,000396 a <sub>3</sub> = 0,000003 b <sub>0</sub> = 0,002463 b <sub>1</sub> = 0,000099 b <sub>2</sub> = 0,000003	0,9998	0,0120	-14,2171
14	[1, 3, 10]	a <sub>1</sub> = 0,022030 a <sub>2</sub> = 0,000381 a <sub>3</sub> = 0,000002 b <sub>0</sub> = 0,000120 b <sub>1</sub> = 0,000002	0,9996	0,0267	-13,1717
	[2, 3, 10]	a <sub>1</sub> = 0,022530 a <sub>2</sub> = 0,000461 a <sub>3</sub> = 0,000004 b <sub>0</sub> = 0,007521 b <sub>1</sub> = 0,000126 b <sub>2</sub> = 0,000004	0,9997	0,0206	-14,1834

(m: bậc tử số; n: bậc mẫu số; τ: thời gian trễ; a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>: các tham số của hàm truyền)

**3.3 Chứng minh tham số α có ý nghĩa vật lý trong quá trình truyền nhiệt**

Từ giá trị tham số tốc độ gia nhiệt thu được cần phải chứng minh tham số này có ý nghĩa thực sự thay đổi theo các điều kiện truyền nhiệt, tham số vật lý có ý nghĩa thì mô hình DBM thu được mới có thể sử dụng.

Tham số  $\alpha = \frac{2k_m(d+h)}{dh\rho_m C_{p,m}}$  thu được từ quá trình

đồng dạng hàm truyền có chứa hệ số truyền nhiệt bề mặt (k<sub>m</sub>) của sản phẩm. Hệ số truyền nhiệt bề mặt đóng vai trò chính trong việc kiểm soát đồng nhất nhiệt độ (Thanh *et al.*, 2007). Khi thay đổi vận tốc môi trường truyền nhiệt sẽ làm thay đổi hệ số truyền nhiệt bề mặt (k<sub>m</sub>). Thông qua giá trị α có chứa hệ số truyền nhiệt bề mặt k<sub>m</sub>, ở các vị trí cảm biến đo đặc và ở các mức lưu lượng bơm khác nhau, giá trị α tính toán được từ mô hình là không bằng nhau (Hình 7). Sự phân bố α ở các vị trí có liên quan rõ rệt đến thay đổi vận tốc môi trường truyền nhiệt, do đó α là tham số thể hiện ý nghĩa vật lý khi điều kiện truyền nhiệt thay đổi.

Sự cần thiết phải kiểm soát hệ số truyền nhiệt bề mặt (k<sub>m</sub>) khi điều khiển làm đồng nhất nhiệt độ sản phẩm còn được chứng minh cụ thể thông qua đánh giá mối quan hệ giữa mức độ đồng nhất nhiệt độ môi trường và sản phẩm như sau: mức độ đồng nhất nhiệt độ sản phẩm được tính toán thông qua chỉ số đồng nhất (Uniform Index) tại các thời điểm quan sát trong suốt quá trình thí nghiệm. Kết quả tính chỉ số đồng nhất nhiệt độ môi trường và sản phẩm đại diện tại 120 phút gia nhiệt với các mức khác biệt nhiệt độ ± 0,1°C, ± 0,3°C, ± 0,5°C được trình bày ở Bảng 2.

$$UI = \frac{\sum_{i=1}^n Vol_i}{VOL}$$

Với UI: là chỉ số đồng nhất (%);  $\sum_{i=1}^n Vol_i$  là thể tích vùng đồng nhất với khác biệt nhiệt độ ΔT quanh nhiệt độ trung bình (T<sub>tb</sub>) của sản phẩm (m<sup>3</sup>); VOL: là tổng thể tích của vùng quan sát (m<sup>3</sup>).

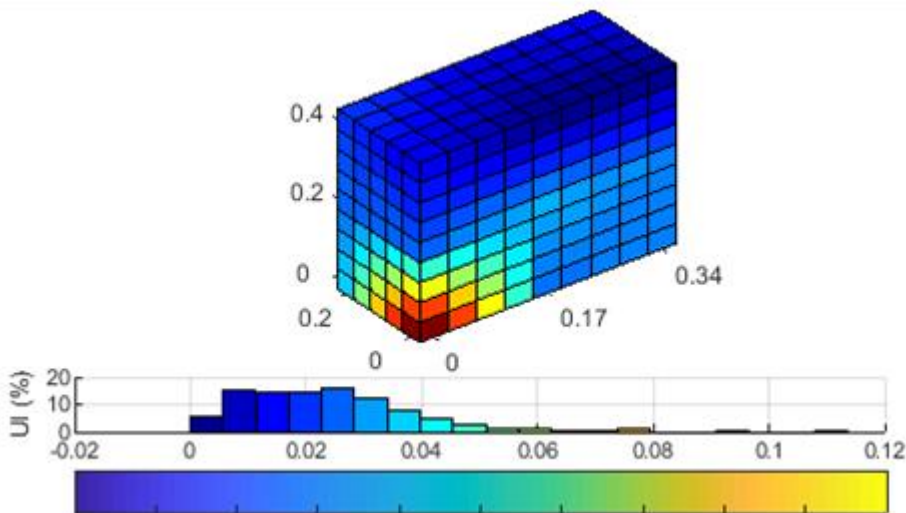
**Bảng 2: Chỉ số đồng nhất nhiệt độ sản phẩm khảo sát tại 120 phút gia nhiệt**

Khác biệt nhiệt độ chấp nhận (°C)	Đồng nhất nhiệt độ môi trường (%)			Đồng nhất nhiệt độ sản phẩm (%)		
	0,6 m <sup>3</sup> /giờ	1,2 m <sup>3</sup> /giờ	1,8 m <sup>3</sup> /giờ	0,6 m <sup>3</sup> /giờ	1,2 m <sup>3</sup> /giờ	1,8 m <sup>3</sup> /giờ
0,1	11,11	44,40	16,67	11,11	16,67	5,56
0,3	44,43	77,78	66,70	22,20	66,67	33,31
0,5	61,12	94,44	83,23	38,89	88,89	61,11

Bảng 2 cho thấy mức độ đồng nhất nhiệt độ môi trường và sản phẩm thay đổi không đều nhau ở các mức lưu lượng. Khác biệt nhiệt độ chấp nhận càng lớn, chỉ số đồng nhất càng cao. Tuy nhiên, mối quan hệ giữa mức độ đồng nhất nhiệt độ môi trường và sản phẩm là không rõ rệt. Rõ ràng, ảnh hưởng của phân bố vận tốc tại các vị trí khi thay đổi lưu lượng bơm là khác nhau. Nên không thể sử dụng mức độ đồng nhất nhiệt độ môi trường để đánh giá đồng nhất nhiệt độ sản phẩm, mà cần phải kiểm soát hệ số truyền nhiệt bề mặt ( $k_m$ ) để làm đồng nhất nhiệt độ sản phẩm (Thanh *et al.*, 2007).

Sử dụng mô hình hàm truyền làm đồng nhất tham số  $\alpha$  trong không gian ba chiều của thiết bị

thanh trùng, có thể xem như làm đồng nhất hệ số truyền nhiệt bề mặt ( $k_m$ ) khi thay đổi vận tốc môi trường trong thiết bị. Điều khiển thay đổi giá trị  $\alpha$  từ hàm truyền được thực hiện thông qua việc điều chỉnh lưu lượng bơm phù hợp trên từng thiết bị thanh trùng thực tế, đây là cơ sở để điều khiển kiểm soát đồng nhất nhiệt độ sản phẩm. Đồ thị Hình 8 minh họa cho mức độ điều khiển làm đồng nhất giá trị  $\alpha$  trong không gian ba chiều của thiết bị. Khi vùng đồng nhất  $\alpha$  càng cao, mức độ đồng nhất nhiệt độ sản phẩm với mức khác biệt nhiệt độ chấp nhận sẽ càng lớn.



**Hình 8: Phân bố tham số  $\alpha$  trong không gian của thiết bị ở lưu lượng 1,2 m<sup>3</sup>/giờ**

**4 KẾT LUẬN**

Hàm truyền bậc ba có dạng  $t_i(t) = \frac{b_0s^2 + b_1s + b_2}{a_0s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3} t_o(t - \tau)$  được chọn từ hàm truyền thực tế biểu thị cho quá trình truyền nhiệt từ môi trường ngõ vào của thiết bị thanh trùng đến sản phẩm, phù hợp với cơ sở lý thuyết của quá trình truyền nhiệt. Đồng dạng hàm truyền thu được tham số vật lý  $\alpha$  có chứa hệ số truyền nhiệt bề mặt  $k_m$ , có ý nghĩa vật lý khi thay đổi điều kiện truyền nhiệt. Từ phân bố tham số  $\alpha$ , sử dụng hàm truyền tính toán mức độ đồng nhất  $\alpha$  và sử dụng mức độ

đồng nhất  $\alpha$  để điều chỉnh lưu lượng bơm là cơ sở để kiểm soát đồng nhất nhiệt độ sản phẩm.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

Lewis, M.J., 2006. Thermal processing. In: Brennan, J.G. and Grandison, A.S.. Food Processing Handbook, 2 Edition. Willey VHC Verlag GmbH & Co. KgaA. Weinheim, 31-32.  
 Lê Thị Hoa Xuân và Võ Tấn Thành, 2011. Ứng dụng kỹ thuật mô hình hóa nhằm kiểm soát phân bố hệ số truyền nhiệt trong không gian ba chiều của thiết bị thanh trùng. Tạp chí khoa học Đại học Cần Thơ. 18b: 262-271.



- Smout, C., Van Loey, A.M.L. and Hendrickx, M.E.G., 2001. Role of temperature distribution studies in the evaluation and identification of processing conditions for static and rotary water cascading retorts. *Journal of Food Engineering*. 48 (1): 61-68.
- Smout, C., Van Loey, A.M.L. and Hendrickx, M.E.G., 2000. Non-uniformity of lethality in retort processes based on heat distribution and heat penetration data. *Journal of Food Engineering*. 45 (2): 103-110.
- Smout, C., Van Loey, A.M.L., Hendrickx, M.E.G. and Tobback, P.P., 1997. Heat distribution studies in overpressure (rotary) retorts. *In: Jowitt, R. (Ed.). Engineering and Food at ICEF7*. Sheffield Academic Press. Sheffield, 25-28.
- Thanh, V.T., Vranken, E. and Berckmans, D., 2008. Data based mechanistic modelling of three dimensional temperature distribution in ventilated rooms filled with biological material. *Journal of Food Engineering*. 86 (3): 422-432.
- Thanh, V.T., Vranken, E., Van Brecht, A. and Berckmans, D., 2007. Data based mechanistic modelling for controlling in three dimensions the temperature distribution in a room filled with obstacles. *Biosystems Engineering*. 98 (1): 54-65.
- Young, P.C., 2002. Data-based mechanistic and top-down modelling. *In: Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society. iEMSs*. Manno. Switzerland, 372.
- Young, P.C., 2011. Data – Based Mechanistic (DBM) Modelling. *In: Recursive Estimation and Time-Series Analysis*. Springer. Berlin, Heidelberg, 357-381.