

ỨNG DỤNG KỸ THUẬT MÔ HÌNH HÓA TRONG KIỂM SOÁT PHÂN BỐ NHIỆT ĐỘ SẢN PHẨM TRONG KHÔNG GIAN BA CHIỀU CỦA KHO BẢO QUẢN LẠNH ĐÔNG

Trần Hồng Tâm¹ và Võ Tấn Thành²

ABSTRACT

In this research, a data based mechanistic modeling approach was applied in a frozen storage room for controlling of 3D product temperature distribution during storage of frozen foods. Six frozen storage rooms in the Mekong delta were investigated. 54 wireless temperature sensors (Maxim DS1921G) were used to record the temperature of airspace and similar products (in a matrix 3x3x3) with the interval time of one minute and total recording time of 24 hours. The study aimed at development of a data based mechanistic modeling approach in case of a frozen storage room. A first order transfer function model proved to be sufficiently good in describing the heat transfer from airspace to products with very high coefficient of determine R^2 and low YIC value. The measured data and the model providing physically meaningful parameter in relation with a local heat transfer rate could be used to control of the 3D of airspace velocity and product temperature distribution during frozen storage rooms.

Keywords: frozen storage, temperature distribution, modeling

Title: Data based mechanistic modeling approach for controlling of 3D product temperature distribution during storage of frozen food

TÓM TẮT

Ứng dụng kỹ thuật mô hình hóa trong việc kiểm soát đồng nhất nhiệt độ của sản phẩm trong không gian 3 chiều của kho bảo quản sản phẩm thủy sản lạnh đông được thực hiện tại 6 kho bảo quản của các nhà máy lạnh đông thủy sản thuộc khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Năm mươi bốn cảm biến không dây (Maxim DS1921G) được sử dụng để ghi nhận nhiệt độ không khí và vật liệu thay thế được bố trí trong kho bảo quản lạnh theo ma trận 3x3x3 với khoảng cách 2 lần ghi là 1 phút với tổng thời gian ghi nhận dữ liệu 24 giờ. Mục tiêu của nghiên cứu này là phát triển mô hình hộp đen có chứa tham số vật lý có ý nghĩa trong trường hợp kho bảo quản lạnh. Hàm truyền bậc 1 thu nhận từ cặp dữ liệu nhiệt độ của môi trường và sản phẩm tại một vị trí tương ứng cung cấp tham số có liên quan đến hệ số truyền nhiệt bề mặt với hệ số tương quan R^2 cao, sai số chuẩn (SE) thấp và hệ số YIC thấp. Hàm truyền thu nhận có khả năng sử dụng để tính toán phân bố gió trong kho bảo quản, giúp điều chỉnh thiết kế, sắp xếp sản phẩm trong kho hoặc thiết kế hệ thống điều khiển nhằm kiểm soát đồng nhất nhiệt độ sản phẩm trong kho bảo quản lạnh đông.

Từ khóa: bảo quản lạnh, phân bố nhiệt độ, mô hình hóa

1 MỞ ĐẦU

Đồng nhất nhiệt độ trong kho bảo quản là yêu cầu cấp thiết trong các nhà máy chế biến, đặc biệt là kho bảo quản có kích thước lớn. Kho bảo quản lạnh đông tại các nhà máy chế biến thủy sản dùng bảo quản các sản phẩm sau khi cấp đông với mục

¹ Khoa Kỹ thuật Công Nghệ, Trường Cao Đẳng Cộng Đồng Đồng Tháp

² Khoa NN & SHUD, Trường Đại học Cần Thơ

đích duy trì nhiệt độ sản phẩm ở mức độ cho phép tùy theo loại sản phẩm tránh các hư hỏng do hóa học, vi sinh vật, enzym, kéo dài thời gian bảo quản (Theofania *et al.*, 2009) là một trường hợp của kho bảo quản lớn. Không đồng nhất nhiệt độ sản phẩm trong kho làm giảm chất lượng các sản phẩm trong quá trình bảo quản do sự tan chảy và kết lại của nước (Geneviève & Martine, 2004). Sự đồng nhất nhiệt độ sản phẩm trong kho bảo quản phụ thuộc vào phân bố nhiệt độ và vận tốc không khí trong phòng bảo quản (Verboven *et al.*, 2004; Chao & Wan, 2004). Trong đó hệ số truyền nhiệt bề mặt (*heat transfer coefficient*) đóng vai trò chính trong việc kiểm soát đồng nhất nhiệt độ sản phẩm trong quá trình bảo quản (Bryan & Brian, 2004; Thanh *et al.*, 2008). Hệ số truyền nhiệt bề mặt là một tham số phụ thuộc vào: nhiệt độ môi trường bảo quản, tốc độ gió, hình dạng, kích thước vật thể... Trong đó phân bố vận tốc gió có vai trò rất quan trọng và quyết định nhiệt độ của sản phẩm và sự đồng nhất của khối sản phẩm. Nhiều nghiên cứu nhằm cải thiện sự đồng nhất trong không gian 3 chiều của kho bảo quản như sử dụng mô hình hoá phân bố vận tốc bằng phương pháp CFD (*computation fluid dynamic*) của các tác giả Frederic *et al.*, 2004; Verboven *et al.*, 2004; Nahor *et al.*, 2005. Tuy vậy, phương pháp CFD chỉ thích hợp cho thiết kế các kho bảo quản mới không thể áp dụng cho các kho bảo quản đang có trước và đặc biệt không thể sử dụng cho thiết kế các hệ thống điều khiển (Oltjen & Owens, 1987).

Hiện nay, việc đo đạc tính toán phân bố vận tốc khí trong không gian 3 chiều gặp nhiều khó khăn do không thể đo đạc được vận tốc của không khí trong phòng có chứa vật thể để có thể tính toán hệ số truyền nhiệt bề mặt theo các phương pháp truyền thống. Vài nghiên cứu tính toán phân bố vận tốc không khí dựa trên việc tính toán hệ số truyền nhiệt bề mặt từ không khí đến vật liệu thay thế như nghiên cứu của Vigneault *et al.*, 2005, Jalal Dehghanny *et al.*, 2011. Tuy nhiên, các nghiên cứu chỉ thực hiện ở vài vị trí, việc ứng dụng phương trình làm lạnh Newton để tính toán với giả sử nhiệt độ môi trường bằng hằng số là không thực tế khi nhiệt độ môi trường bảo quản luôn thay đổi.

Việc kết hợp kỹ thuật đo đạc nhiệt độ trong không gian 3 chiều với kỹ thuật mô hình hóa ở trạng thái động có khả năng xác định phân bố hệ số truyền nhiệt bề mặt trong không gian 3 chiều của kho bảo quản giúp cải thiện tính sự đồng nhất về chất lượng của các sản phẩm lạnh đông.

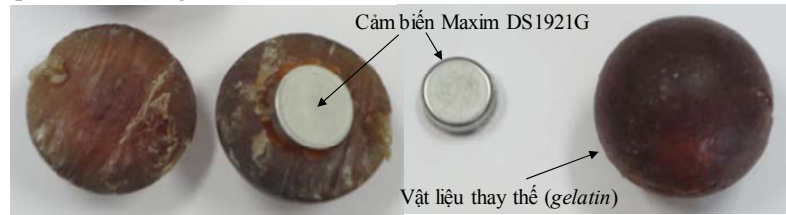
2 PHƯƠNG TIỆN VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1 Phương tiện

Thí nghiệm được thực hiện tại 6 kho bảo quản của các nhà máy đông lạnh thủy sản trên địa bàn đồng bằng sông Cửu Long: xí nghiệp đông lạnh An Phước (*Vĩnh Long*), công ty đông lạnh Hùng Vương (*Vĩnh Long*), xí nghiệp đông lạnh Tô Châu (*Đồng Tháp*), xí nghiệp đông lạnh Hùng Cá (*Đồng Tháp*), công ty đông lạnh Seapro (*Trà Vinh*), công ty cổ phần Basa (*Cần Thơ*). Năm mươi bốn cảm biến nhiệt độ không dây Maxim DS1921G với độ chính xác 0,5°C (Hình 1), có khả năng ghi nhận và lưu 2048 dữ liệu với khoảng cách giữa 2 lần ghi là 1 phút được sử dụng để ghi nhận nhiệt độ của môi trường và sản phẩm trong kho bảo quản.

Để dễ dàng cho việc đo đạc nhiệt độ sản phẩm, vật liệu giả sản phẩm được sử dụng. Vật liệu giả sản phẩm được làm bằng gelatin hình cầu có đường kính 4 cm

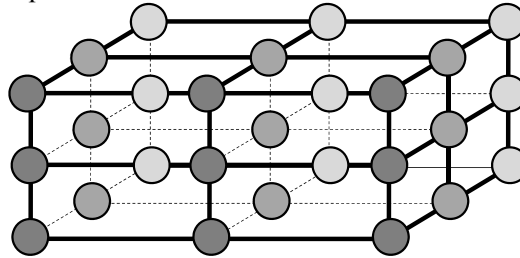
được chế biến giống nhau cho tất cả các thí nghiệm (do tính phân bố tham số liên quan đến hệ số truyền nhiệt bề mặt, từ đó đánh giá mức độ đồng nhất. Với các vật liệu thay thế khác nhau hệ số truyền nhiệt bề mặt tới các vật thể sẽ khác nhau, nhưng tính toán theo tương đối hoàn toàn có thể sử dụng các vật liệu thay thế thay cho sản phẩm thật (Vigneault et al., 2005)).



Hình 1: Cảm biến không dây và bố trí cảm biến trong vật liệu thay thế

2.2 Phương pháp thí nghiệm

Các cảm biến nhiệt độ không dây được bố trí theo ma trận 3x3x3 trong kho. Với 27 cảm biến được sử dụng cho môi trường và 27 cảm biến sử dụng cho đo đặc nhiệt độ của vật liệu thay thế tại các vị trí tương ứng (Hình 2) tùy theo kích thước thực tế của kho bảo quản.



Hình 2: Bố trí cảm biến nhiệt độ theo ma trận 3x3x3 trong kho bảo quản lạnh đông

Thí nghiệm được thực hiện với khoảng cách giữa 2 lần ghi nhận dữ liệu là 1 phút với tổng thời gian khảo sát là 24 giờ. Dữ liệu thu nhận nhiệt độ theo thời gian thí nghiệm của môi trường và vật liệu thay thế (sản phẩm) là cơ sở để tính toán phân bố nhiệt, tính toán chỉ số đồng nhất, mô hình hóa và truy tìm tham số có ý nghĩa vật lý đáp ứng yêu cầu cho việc kiểm soát phân bố nhiệt độ sản phẩm trong kho bảo quản.

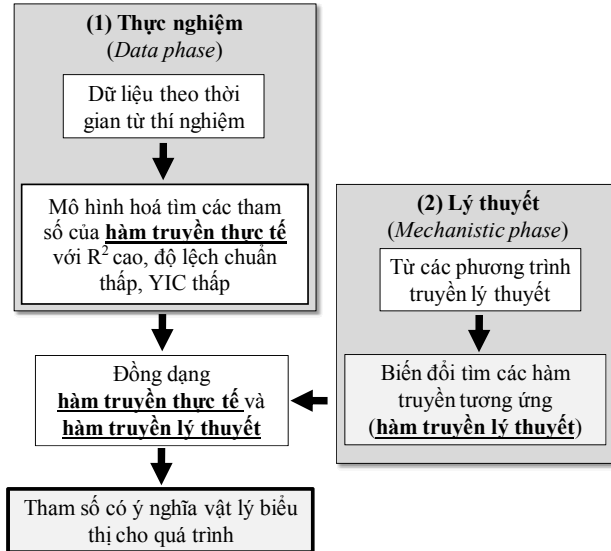
Các tính toán bao gồm:

- Tính toán phân bố nhiệt độ (môi trường và sản phẩm) trong không gian 3 chiều của kho bảo quản lạnh đông theo thời gian được thực hiện bằng phương pháp nội suy trong không gian 3 chiều.
- Tính toán chỉ số đồng nhất được thực hiện dựa trên lý thuyết đồng nhất (well mixed zone approach) với khác biệt nhiệt độ có thể chấp nhận ΔT . Chỉ số đồng nhất I được tính theo công thức:

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

Với: I : chỉ số đồng nhất (%); $\sum_{i=1}^n Vol_i$: thể tích vùng đồng nhất với khác biệt nhiệt độ ΔT quanh nhiệt độ trung bình (T_{tb}) của môi trường hoặc sản phẩm (m^3); VOL : tổng thể tích của vùng quan sát (m^3).

- Sử dụng mô hình hộp đen chứa các tham số vật lý có ý nghĩa (*data based mechanistic modeling approach*) để mô hình hóa dữ liệu từ thí nghiệm. Quá trình mô hình hóa được thực hiện theo 2 bước, được mô tả theo sơ đồ Hình 3.



Hình 3: Mô hình hộp đen có chứa tham số có ý nghĩa vật lý

2.2.1 Hàm truyền (transfer function) thực tế từ dữ liệu thí nghiệm

Ở giai đoạn (1) (Hình 3) dữ liệu biến đổi nhiệt độ theo thời gian của môi trường và sản phẩm trong quá trình thí nghiệm (*time-series data*) được sử dụng cho việc mô hình hóa tìm các tham số của các hàm truyền tương ứng. Phương trình tốt nhất sẽ được chọn trên cơ sở R^2 cao, độ lệch chuẩn (SE) thấp và hệ số YIC (*Young's Identification Criterion*) thấp. Nói cách khác, trong giai đoạn này hàm truyền bất kỳ được lựa chọn trên cơ sở hộp đen (*các tham số trong hàm truyền không thể hiện bất kỳ ý nghĩa vật lý nào*).

Hàm truyền biểu thị cho một dữ liệu thay đổi và một kết quả thu nhận khi dữ liệu thay đổi (*Single Input – Single Output*) có dạng:

$$x(t) = \frac{B(s)}{A(s)}u(t - \tau) \text{ và } y(t) = x(t) + e(t) \quad \text{hay} \quad y(t) = \frac{B(s)}{A(s)}u(t - \tau) + e(t)$$

Với $A(s)$ và $B(s)$ là hàm bậc cao chứa $s = d/dt$

$$A(s) = s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_{n-1}s + a_n$$

$$B(s) = b_0s^m + b_1s^{m-1} + \dots + b_{m-1}s + b_m$$

$e(t)$: sai số của mô hình; τ : thời gian trễ (s); t : thời gian (s); $u(t)$: nguồn tác động; $y(t)$: kết quả thu nhận do nguồn tác động (*có chứa sai số*); $x(t)$: kết quả thu nhận do nguồn tác động (*không chứa sai số*).

Mặc dù có nhiều phương pháp để tìm các tham số của hàm truyền từ dữ liệu thí nghiệm, thuật toán Simplified Refined Instrumental Variable (SRIV) được lựa chọn sử dụng cho 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 được lựa chọn chính xác và có khả năng tối ưu hóa nhằm làm giảm các bậc của phương trình trong hàm truyền (Young, 1984). Các tham số của hàm truyền dựa trên thuật toán SRIV được tính toán thông qua việc sử dụng công cụ SRVIC được tích hợp trong captain toolbox matlab (<http://www.es.lancs.ac.uk/cres/captain/>).

Các hàm truyền được so sánh và lựa chọn thông qua hệ số tương quan R^2 và chỉ số YIC. Trong đó YIC là tham số được tính toán rất phức tạp. Tuy nhiên, YIC chứa các tham số biểu thị cho mức độ tương thích của phương trình như hệ số tương quan (R^2), độ lệch chuẩn (SE) và yếu tố bậc của hàm truyền (Young, 1984). Hàm truyền được lựa chọn theo YIC càng thấp. Việc tìm hàm truyền với các tham số trong các hàm truyền từ các dữ liệu thí nghiệm được gọi là hàm truyền thực tế.

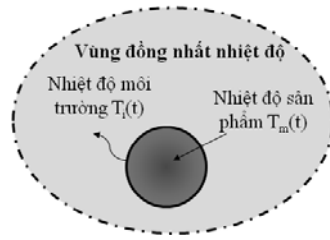
2.2.2 Hàm truyền lý thuyết trong quá trình bảo quản lạnh đông

Ở giai đoạn (2) (Hình 3), sử dụng các phương trình truyền nhiệt cơ bản với các giả sử tương ứng để tìm hàm truyền biểu thị cho quá trình truyền nhiệt từ sản phẩm đến môi trường (*hiệu độ sản phẩm lớn hơn hiệu độ môi trường*). Hàm truyền thu nhận từ các chuyển đổi được gọi là hàm truyền lý thuyết.

Nghiên cứu trên sự đồng nhất của nhiệt độ không khí trong phòng không có vật thể. Berckmans *et al.* (1992), De Moor & Berckmans (1993) chứng minh rằng không thể có đồng nhất nhiệt độ với một nhiệt độ xác định trong vùng quan sát. Sự đồng nhất nhiệt độ chỉ có thể có dựa trên một nhiệt độ nào đó với một khác biệt nhiệt độ có thể chấp nhận đã được định nghĩa trước. Các tác giả cũng chứng minh, hoàn toàn có thể định nghĩa một vùng đồng nhất xung quanh cảm biến đo nhiệt độ. Thể tích của vùng đồng nhất được xác định thông qua một khác biệt nhiệt độ (ΔT) ở mức độ có thể chấp nhận.

Trong trường hợp kho bảo quản lạnh đông. Với các giả sử: đồng nhất nhiệt độ sản phẩm trong vùng có nhiệt độ môi trường đồng nhất với một khác biệt nhiệt độ có thể chấp nhận nào đó (*ví dụ trong kho bảo quản lạnh đông Geneviève Blond & Martine Le Meste (2004) đề nghị khác biệt nhiệt độ có thể chấp nhận của môi trường trong kho bảo quản là $\pm 1,5^\circ C$*), phần lớn nước trong sản phẩm đã kết tinh (*xem như quá trình truyền nhiệt không có sự thay đổi pha*), nhiệt dung riêng của sản phẩm ít biến đổi theo nhiệt độ.

Phương trình truyền nhiệt từ sản phẩm tới một vùng đồng nhất nhiệt độ (*nhu định nghĩa*) được thể hiện ở Hình 4 (*quá trình truyền nhiệt do đối lưu*), tính toán cân bằng năng lượng trong vùng quan sát mô tả theo Phương trình (1) (*tổng năng lượng mất đi từ các sản phẩm bằng với nhiệt lượng môi trường thu nhận*).



Hình 4: Biểu diễn quá trình truyền nhiệt từ sản phẩm đến một vùng môi trường làm lạnh

$$m.C_p \frac{dT_m(t)}{dt} = k_m \cdot S_m (T_m(t) - T_i(t - \tau)) \tag{1}$$

Với: m : khối lượng của sản phẩm (kg); C_p : nhiệt dung riêng của sản phẩm (J/kg°C); k_m : hệ số truyền nhiệt bề mặt (W/m²°C); S_m : tổng diện tích bề mặt của sản phẩm (m²); $T_i(t)$: nhiệt độ môi trường làm lạnh theo thời gian (°C); $T_m(t)$: nhiệt độ của sản phẩm theo thời gian làm lạnh (°C); τ : thời gian trễ (s).
 Phương trình (1) có thể viết lại:

$$\frac{dT_m(T)}{dt} = \frac{k_m \cdot S_m}{m \cdot C_p} (T_m(t) - T_i(t - \tau)) \tag{2}$$

Ở trạng thái ổn định (không có thay đổi nhiệt độ sản phẩm theo thời gian)

$$\frac{dT_m}{dt} = 0, \text{ tương ứng với nhiệt độ của môi trường } \bar{T}_i \text{ và nhiệt độ sản phẩm và } \bar{T}_m.$$

Ta có:

$$0 = \frac{k_m \cdot S_m}{m \cdot C_p} (\bar{T}_m(t) - \bar{T}_i(t - \tau)) \tag{3}$$

Nếu xét thay đổi nhiệt độ môi trường và nhiệt độ sản phẩm so với nhiệt độ ở trạng thái ổn định tương ứng $t_i(t) = \bar{T}_i(t - \tau) - \bar{T}_i(t)$ và $t_m(t) = \bar{T}_m(t) - \bar{T}_m(t)$. Lấy phương trình (3) trừ phương trình (2), ta có phương trình (4):

$$\frac{dt_m(t)}{dt} = \frac{k_m \cdot S_m}{m \cdot C_p} (t_m(t) - t_i(t - \tau)) \tag{4}$$

Với tốc độ làm lạnh (cooling rate) được định nghĩa:

$$\alpha = \frac{k_m \cdot S_m}{m \cdot C_p} \quad (1/s) \tag{5}$$

Phương trình (4) được viết lại:

$$\frac{dt_m(t)}{dt} = \alpha (t_m(t) - t_i(t - \tau)) \tag{6}$$

Sử dụng toán tử Laplace để biểu diễn quá trình. Hàm truyền biểu thị cho quá trình truyền nhiệt từ sản phẩm đến môi trường làm lạnh có dạng:

$$t_m(t) = \frac{\alpha}{s + \alpha} t_i(t - \tau) \tag{7}$$

Với s là toán tử Laplace được định nghĩa $s = \frac{d}{dt}$

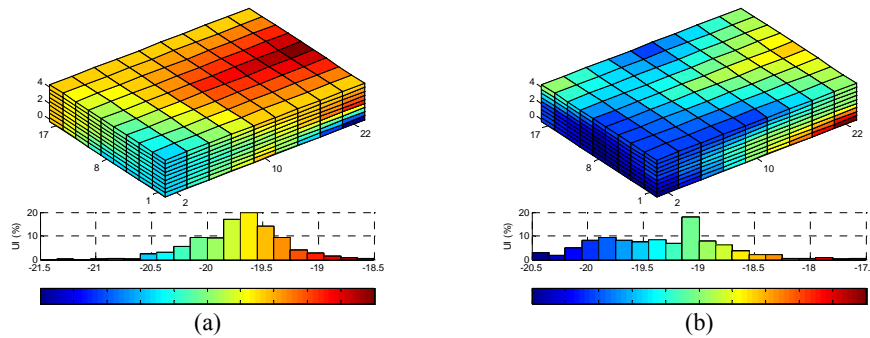
Hàm truyền (Phương trình (7)) thu nhận từ tính toán cân bằng năng lượng trong vùng đồng nhất với các giả sử tương ứng được gọi là hàm truyền lý thuyết.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

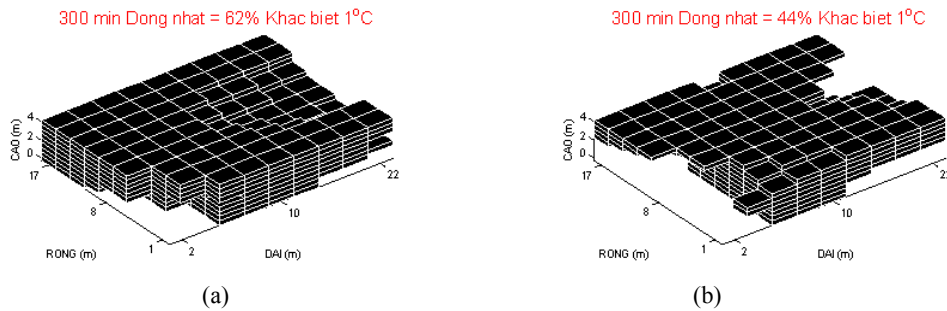
Dữ liệu nhiệt độ của môi trường và nhiệt độ của vật liệu thay thế (*sản phẩm*) thu nhận tại 6 nhà máy là cơ sở để tính toán các thông tin cần thiết. Dữ liệu tại một nhà máy bất kỳ được lựa chọn để tính toán xem như là một ví dụ của tính toán với mục tiêu kiểm soát sự đồng nhất của sản phẩm trong kho bảo quản lạnh đông.

3.1 Phân bố nhiệt độ của môi trường và sản phẩm tại một thời điểm quan sát

Tính toán và thể hiện phân bố nhiệt độ trong không gian 3 chiều của môi trường và sản phẩm tại một thời điểm quan sát cụ thể thể hiện ở Hình 5 (ví dụ tại 300 phút khi bắt đầu ghi nhận dữ liệu). Chỉ số đồng nhất và vị trí đồng nhất của nhiệt độ môi trường và sản phẩm tương ứng được xác định với một khác biệt nhiệt độ so với nhiệt độ trung bình được thể hiện ở Hình 6.



Hình 5: Phân bố nhiệt độ môi trường (a) và sản phẩm (b) tại một thời điểm quan sát tại một nhà máy



Hình 6: Các vùng đồng nhất của môi trường (a) và sản phẩm (b) tại các thời điểm quan sát

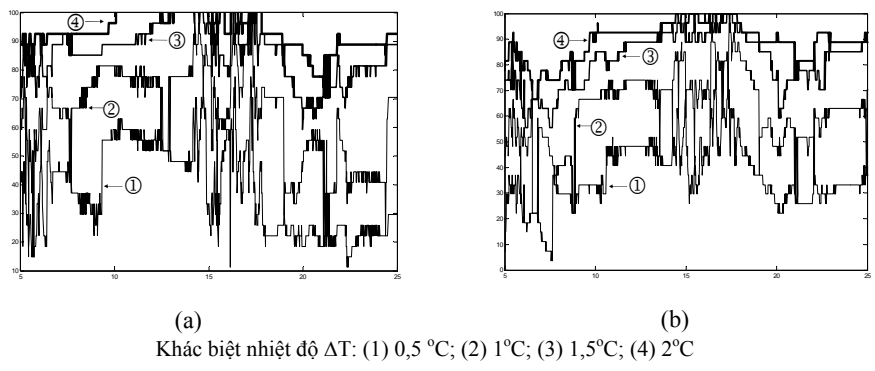
Từ kết quả Hình 5 cho thấy: sự không đồng nhất của nhiệt độ môi trường (a) và sản phẩm (b) xảy ra trong kho bảo quản lạnh đông tại thời điểm quan sát. Tính toán các vùng đồng nhất với khác biệt nhiệt độ 1°C thể hiện ở Hình 6. Có thể nhận thấy chỉ số đồng nhất nhiệt độ môi trường (a) (62%) và sản phẩm (b) (44%) có sự khác biệt ở cùng một mức độ nhiệt độ 1°C. Sự khác biệt còn thể hiện ở vị trí các vùng đồng nhất không trùng khớp nhau (Hình 6). Sự khác biệt giữa phân bố nhiệt độ và sản phẩm biểu thị ở Hình 5 và Hình 6 phù hợp với lý thuyết truyền nhiệt. Khác biệt trên cho thấy, nhiệt độ chỉ là một tham số bên cạnh nhiều tham số khác

có ảnh hưởng đến nhiệt độ sản phẩm. Từ đây có thể kết luận, không thể sử dụng đồng nhất nhiệt độ môi trường để kiểm soát sự đồng nhất nhiệt độ của sản phẩm.

3.2 Đồng nhất nhiệt độ của môi trường và sản phẩm với các mức độ khác biệt nhiệt độ khác nhau

Kết quả phân tích chỉ số đồng nhất theo thời gian tương ứng với các mức khác biệt nhiệt độ 0,5, 1, 1,5 và 2°C cho môi trường và sản phẩm được thể hiện ở Hình 7, có thể nhận thấy chỉ số đồng nhất càng cao khi khác biệt nhiệt độ càng cao, chỉ số đồng nhất của môi trường và sản phẩm luôn dao động theo thời gian khảo sát. Chứng tỏ, khi nhiệt độ môi trường thay đổi sẽ dẫn đến chỉ số đồng nhất thay đổi do quá trình đóng mở cửa kho bảo quản khi nhập, xuất hàng. Tuy nhiên, nếu xét kỹ sự đồng nhất của môi trường và sản phẩm không thật sự trùng khớp với nhau tương ứng với các thời điểm khảo sát. Chứng tỏ, khi mở cửa kho bảo quản không khí lạnh trong kho di chuyển theo hướng rất khác (so với lúc đóng kho) dẫn đến chỉ số đồng nhất khác biệt.

Chỉ số đồng nhất trung bình với các khác biệt nhiệt độ trong suốt thời gian khảo sát (24 giờ) được thể hiện ở bảng 1.



Hình 7: Thay đổi chỉ số đồng nhất của môi trường (a); sản phẩm (b) tại nhà máy khảo sát

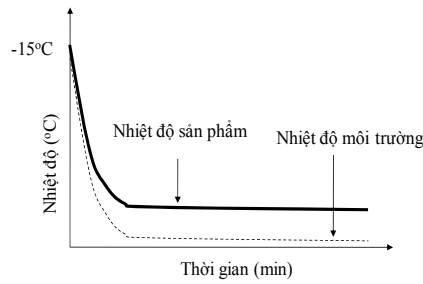
Bảng 1: Chỉ số đồng nhất trung bình của môi trường và sản phẩm trong suốt thời gian khảo sát

Khác biệt nhiệt độ (°C)	Môi trường (%)	Sản phẩm (%)
0,5	37,8	36,4
1	64,6	63,0
1,5	85,7	91,7
2	93,1	89,2

Sự khác biệt chỉ số đồng nhất theo từng thời điểm có khác nhau (Hình 7). Tuy nhiên, trung bình không có khác biệt lớn.

3.3 Mô hình hóa tìm tham số vật lý liên quan đến quá trình trình bảo quản lạnh đông

Do không thể thực hiện thí nghiệm “bước” trong các kho bảo quản có trước. Thay đổi nhiệt độ môi trường từ -15°C đến nhiệt độ của kho bảo quản được xem là dữ liệu thay đổi động học cho quá trình mô hình hóa (tại nhiệt độ -15°C khoảng 80% nước kết tinh (Geneviève & Martine, 2004). Biểu diễn dữ liệu động học của nhiệt độ môi trường và vật liệu thay thế được cho ở Hình 8.



Hình 8: Biểu diễn dữ liệu động học cho tính toán

Kết quả tính toán các tham số theo hàm truyền bậc 1 có dạng:

$$t_m(t) = \frac{b_o}{s + a_1} t_i(t) \tag{8}$$

Với: $t_i(t)$: biến thiên nhiệt độ môi trường so với nhiệt độ ở trạng thái ổn định (°C).

$t_m(t)$: biến thiên nhiệt độ sản phẩm so với nhiệt độ ở trạng thái ổn định (°C).

b_o, a_1 : các tham số của hàm truyền.

Các tham số trong hàm truyền (b_o và a_1) tại một vài vị trí trong kho thể hiện ở bảng 2.

Các kết quả thể hiện ở bảng 2 cho thấy hàm truyền bậc 1 từ dữ liệu thí nghiệm (*hàm truyền thực tế*) có hệ số tương quan R^2 cao và YIC thấp tại hầu hết các vị trí. Chứng tỏ hàm truyền bậc 1 có thể sử dụng để biểu diễn quá trình truyền nhiệt sản phẩm đến môi trường trong kho bảo quản lạnh (Nguyễn Thị Phương Linh (2010) đã chứng minh hàm truyền bậc 1 biểu thị cho quá trình truyền khi sản phẩm lạnh đông có nhiệt độ thấp hơn -15°C).

Bảng 2: Các tham số trong hàm truyền tại một vài vị trí trong kho bảo quản lạnh

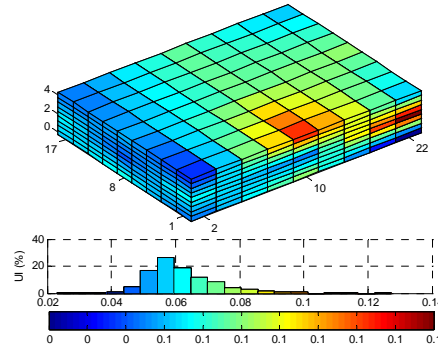
Vị trí	a_1	b_o	R^2	SE	YIC	Khác biệt giữa a_1 và b_o (%)
1	0,05	0,05	0,99	0,68	-13,84	2,06
5	0,04	0,04	0,99	0,32	-15,60	0,00
10	0,08	0,08	0,99	0,03	-19,30	0,40
14	0,06	0,06	0,99	0,30	-15,21	0,00
19	0,02	0,02	0,99	0,21	-16,96	1,72
23	0,07	0,07	0,99	0,03	-19,95	0,28
27	0,06	0,06	0,99	0,11	-17,44	0,54

a_1, b_o là các tham số trong hàm truyền thực tế; SE sai số chuẩn; R^2 hệ số tương quan; hệ số YIC.

Đồng dạng Phương trình (8) và Phương trình (7) ta có thể thấy $\alpha = b_o = a_1$. Giá trị của α có thể thu nhận từ thí nghiệm (*quan hệ giữa nhiệt độ môi trường và sản phẩm*), trong công thức tính α (Phương trình 5) có chứa hệ số truyền nhiệt bề mặt k_m . Vì vậy, α là tham số vật lý thu nhận được từ thí nghiệm có liên quan đến hệ số truyền nhiệt bề mặt, có khả năng sử dụng để kiểm soát đồng nhất nhiệt độ sản phẩm trong kho bảo quản lạnh đông. Mặt khác giá trị b_o và a_1 gần tương đương nhau trong hàm truyền thực tế đã củng cố thêm mức độ tương đương giữa hàm truyền lý thuyết và hàm truyền thực tế.

3.4 Biểu diễn phân bố vận tốc không khí trong kho bảo quản (thông qua hệ số truyền nhiệt bề mặt)

Hệ số truyền nhiệt bề mặt là tham số quan trọng trong tính toán quá trình truyền nhiệt do đối lưu. Việc mô hình hóa chưa thể tìm giá trị chính xác của tham số quan trọng này. Tuy vậy, hoàn toàn có thể sử dụng tham số liên quan đến hệ số truyền nhiệt bề mặt α để so sánh mức độ trao đổi năng lượng trong không gian 3 chiều của kho bảo quản lạnh. Biểu diễn phân bố hệ số liên quan đến hệ số truyền nhiệt α được thể hiện ở Hình 9.



Hình 9: Phân bố hệ số liên quan đến hệ số truyền nhiệt bề mặt

Từ phân bố hệ số liên quan đến hệ số truyền nhiệt bề mặt ta có thể điều chỉnh thiết kế kho, bố trí các sản phẩm trong kho hoặc thiết kế hệ thống điều khiển trực tuyến nhằm kiểm soát đồng nhất nhiệt độ sản phẩm thông qua tham số thông qua tham số có liên quan đến hệ số truyền nhiệt bề mặt α .

4 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

Sự đồng nhất nhiệt độ của môi trường và sản phẩm trong kho rất khác biệt (theo vị trí) nên không thể sử dụng đồng nhất nhiệt độ môi trường để kiểm soát đồng nhất nhiệt độ sản phẩm trong kho bảo quản lạnh.

Hàm truyền bậc 1 thu nhận từ việc sử dụng dữ liệu động học từ nhiệt độ môi trường và vật liệu thay thế với các giả sử tương ứng có hệ số tương quan cao và YIC thấp. Truy tìm tham số vật lý có ý nghĩa trong hàm truyền, tham số chứa trong hàm truyền bậc 1 từ thực tế có chứa hệ số truyền nhiệt bề mặt. Tham số vừa tìm được có khả năng được sử dụng để điều chỉnh thiết kế, bố trí sản phẩm trong kho cũng như thiết kế hệ thống điều khiển nhằm kiểm soát sự đồng nhất của nhiệt độ sản phẩm trong kho bảo quản lạnh đồng.

Đề nghị mở rộng nghiên cứu việc mô hình hóa tương ứng với nhiệt độ không khí vào và nhiệt độ môi trường để có thể thiết kế hệ thống điều khiển trực tuyến thông qua điều khiển các điều kiện không khí vào như nhiệt độ, lưu lượng và hướng đi của không khí từ hệ thống cung cấp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Berckmans D, De Moor M, De Moor B. 1992. New model concept to control the energy and mass transfer in a three-dimensional imperfectly mixed ventilated space. *Proceedings of Roomvent' 92, Aalborg, Denmark*, 2, 151-168.
- Bryan R. Becker, Brian A. Fricke. 2004. Heat transfer coefficients for forced-air cooling and freezing of selected foods. *International journal of refrigeration*, 27, 540-551.
- Chao C Y H and Wan M P. 2004. Airflow and air temperature distribution in the occupied region of an under floor ventilation system. *Building and environment*, 39(7), 749-762.
- De Moor M & Berckmans D. 1993. Analysis of the control of livestock environment by mathematical identification on measured data. Paper No. 93-4574, *International Winter Meeting A.S.A.E., Chicago, IL*.
- Frederic D, Pieters J G, Dewettinck K. 2004. CFD analysis of air distribution in fluidised bed equipment. *Powder technology*, 145(33), 176-189.
- Geneviève Blond & Martine Le Meste. 2004. Chapter 3: Principles of frozen storage. Trong *Handbook of Frozen Foods*. Marcel Dekker.
- Jalal Dehghanny, Michael Ngadi, Clement Vigneault. 2011. Mathematical modeling of airflow and heat transfer during forced convection cooling of produce considering various package vent areas. *Food control*, 22, 1393-1399.
- Nahor H B, Hoang M L, Verboven P, Baelmans M, Nicolai B M. 2005. CFD model of the airflow, heat and mass transfer in cool stores. *International Journal of refrigeration*, 28(3), 368-380.
- Nguyễn Thị Phương Linh. 2010. Phát triển phương pháp phỏng đoán nhiệt độ sản phẩm trong quá trình lạnh đông thực phẩm. Luận văn tốt nghiệp cao học ngành Công Nghệ Thực Phẩm và Đồ Uống, Trường Đại Học Cần Thơ.
- Oltjen JW, Owens FN. 1987. Beef cattle feed intake and growth: empirical bayes derivation of the kalman filter applied to a nonlinear dynamic model. *Journal of animal science*, 65, 1362-70.
- Thanh V T, Vranken E, Berckmans D. 2008. Data based mechanistic modelling for control of three dimensional temperature distribution in a room filled with biological products. *Journal of food engineering*. 86(3). 422-432.
- Theofania Tsironi, Efimia Dermesonlouoglou, Maria Giannakourou, Petros Taoukis. 2009. Shelf life modelling of frozen shrimp at variable temperature conditions. *LWT - Food science and technology*, 42, 664-671.
- Verboven P, Hoang M L, Baelmans M, Nicolai B M. 2004. Airflow through beds of apples and chicory roots. *Biosystems engineering*, 88(1), 117-125.
- Vigneault C, De Castro L R, Cortez L A B. 2005. A new approach to measure air distribution through horticultural crop packages. *Acta horticulturae. (ISHS)*, 682, 2239-2245.
- Young P C. 1984. *Recursive Estimation and Time-series Analysis*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.