

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ PHÁT TRIỂN MÁY RỬA BÁT BĂNG CHUYỀN ỨNG DỤNG TRONG BẾP ĂN CÔNG NGHIỆP

A STUDY ON THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF CONVEYOR DISHWASHERS FOR USE IN INDUSTRIAL KITCHENS

Lê Đức Độ*, Trần Ngọc Tuyền, Hoàng Văn Tiến, Phạm Đức Dương,
Nguyễn Đỗ Khôi Nguyên, Nguyễn Mạnh Toàn

Khoa Cơ khí Chế tạo máy, Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

*Email: do.leduc@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu trình bày quá trình tính toán và thiết kế hệ thống máy rửa bát băng chuyền công nghiệp vận hành liên tục, đạt năng suất 3500 sản phẩm/giờ. Hệ thống tích hợp bốn module: bể ngâm sục khí, xích tải POM, buồng phun rửa áp lực kép và buồng sấy nhiệt UV. Bộ điều khiển PLC Siemens S7-1200 kết hợp thuật toán PID và relay bán dẫn (SSR) duy trì sai số nhiệt độ dưới $\pm 1^{\circ}\text{C}$, đảm bảo tiệt trùng đồng nhất. Kết quả mô phỏng xác nhận hệ thống đạt độ ổn định động học cao, bát đĩa đầu ra đạt tiêu chuẩn vệ sinh, đồng thời tối ưu tiêu thụ nước và hóa chất.

Từ khóa: Băng tải xích; Máy rửa bát; PLC; Tự động hóa.

ABSTRACT

This paper presents the kinematic calculation and design of a continuous conveyor dishwashing system for industrial kitchens, targeting a throughput of 3500 items/hour. The system integrates four modules: an aeration pre-soaking tank, a POM chain conveyor, a dual-pressure spray washing chamber, and a UV thermal drying chamber. A Siemens S7-1200 PLC with PID control and solid-state relays (SSR) maintains temperature accuracy within $\pm 1^{\circ}\text{C}$ for consistent sterilization. Simulation results confirm high dynamic stability and compliance with food safety hygiene standards, with optimized water and chemical consumption.

Keywords: Chain conveyor; Dishwasher; PLC; Automation.



1. GIỚI THIỆU CHUNG

Tại các bếp ăn tập thể quy mô lớn (bệnh viện, trường đại học, khu công nghiệp), nhu cầu xử lý 2.000-4.000 suất ăn/ca trong thời gian chuyển ca ngắn (1-2 giờ) đặt ra yêu cầu cấp thiết về tự động hóa khâu vệ sinh dụng cụ. Phương pháp thủ công và các dòng máy rửa dạng mẻ (door-type) không đáp ứng được năng suất cũng như tiêu chuẩn khử khuẩn, đồng thời gây áp lực lớn về nhân công và chi phí vận hành.

Máy rửa bát dạng băng chuyền (conveyor-type) là giải pháp tối ưu cho vận hành liên tục, song các thiết bị hiện có (Meiko [1], Hobart [2]) đều nhập khẩu với chi phí cao

và khó tùy biến. Nghiên cứu này hướng đến nội địa hóa một hệ thống hoàn chỉnh gồm bốn module chức năng gồm bể ngâm súc khí, xích tải, buồng phun rửa và buồng sấy, với hệ điều khiển PLC tích hợp cảm biến và động cơ AC Servo, nhằm tối ưu chi phí và làm chủ công nghệ.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Thiết kế được xây dựng dựa trên khảo sát thực tế kích thước dụng cụ ăn uống phổ biến (Bảng 1) và kế thừa ưu điểm từ các hệ thống thương mại hiện có. Mô hình 3D toàn hệ thống được hoàn thiện trên phần mềm CAD dựa trên cơ sở tính toán chi tiết từng module.

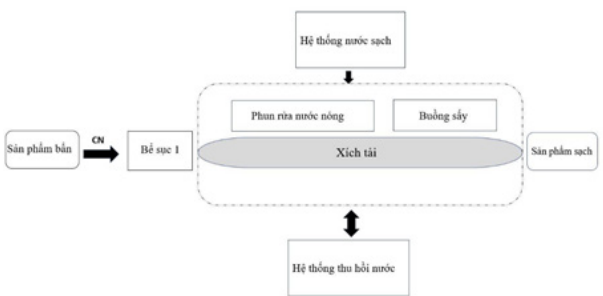
Bảng 1. Thông số một số sản phẩm thường dùng

Sản phẩm	Đường kính (cm)	Chiều cao (cm)	Khối lượng (g)	Vật liệu
Chén	6,5-8	2,5-4	60-120	Sứ, nhựa
Bát cơm	8-10	5,5-6,5	150-250	Sứ, nhựa
Tô canh	16-20	7-9	500-900	Sứ, nhựa
Đĩa	20-24	2-3,5	350-700	Sứ, nhựa

2.1. Thiết kế hệ thống truyền động

2.1.1. Mô hình đề xuất

Với năng suất thiết kế 3500 sản phẩm/giờ, hệ thống vận hành theo nguyên lý dây chuyền liên tục qua các module tuần tự: (1) bể ngâm súc khí hòa tan dầu mỡ; (2) buồng phun rửa tuần hoàn; (3) buồng tráng nước nóng; (4) buồng sấy nhiệt tích hợp UV. Kích thước các khâu tuân thủ tiêu chuẩn DIN 10510 [3], tổng thời gian xử lý trung bình 90 giây; khoang rửa-tráng có kích thước 1,8 m × 0,8 m. Điều kiện tốc độ đảm bảo không dồn ứ sản phẩm: $v_{sấy} > v_{rửa} > v_{ngâm}$. Sơ đồ nguyên lý hệ thống được chỉ ra trên Hình 1.

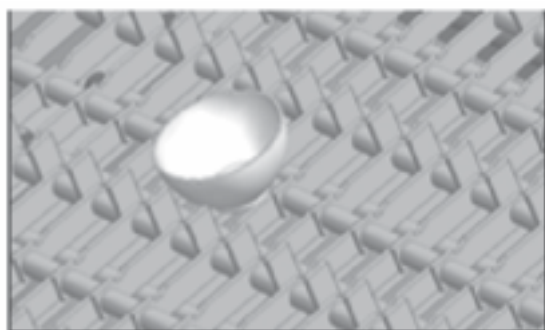


Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống

2.1.2. Tính toán thiết kế xích tải

Xích tải là cơ cấu cốt lõi, được chế tạo từ nhựa POM (Polyoxymethylene) nhờ độ bền cơ học cao, chịu hóa chất và tự bôi trơn [4]. Phần gờ trên mặt xích đóng vai trò điểm tựa

chống trượt khi sản phẩm di chuyển qua mặt phẳng nghiêng của bể ngâm như thể hiện trên Hình 2. Bước xích xác định theo kích thước sản phẩm nhỏ nhất (chén chấm); kết quả chọn số răng đĩa xích $Z = 7$, bước xích $p = 64$ mm, $p_t = 50$ mm, đường kính con lăn $d_l = 25$ mm; góc ôm $\alpha = 46,4^\circ$, chiều rộng răng đĩa $b = 13,8$ mm như được mô tả trong Hình 3 [5, 6].



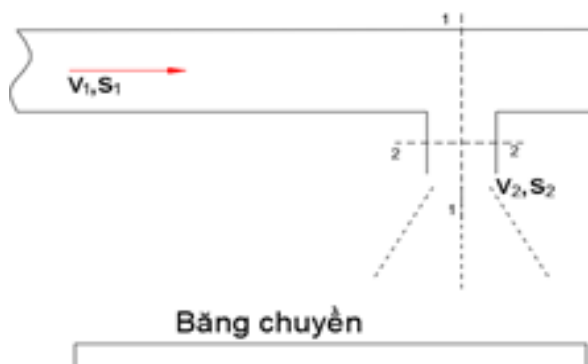
Hình 2. Chi tiết mắt xích ở bể rửa



Hình 3. Sơ đồ tính đĩa xích

2.2. Thiết kế hệ thống thủy lực

Hệ thống sử dụng vòi phun hình nón áp lực cao để bóc tách vết bẩn. Áp suất tại đầu ra xa nhất được tính theo phương trình Bernoulli cho dòng chất lỏng thực có tổn thất [7]. Để cân bằng giữa lưu lượng bao phủ và công suất bơm, hệ số thu hẹp tiết diện vòi phun được chọn sơ bộ $i = 6$, số lỗ phun sơ bộ trên một ống là $n = 6$ lỗ; đường kính ống nước lựa chọn theo tiêu chuẩn MISUMI [8] và quy cách ống inox [9] là Ø21,34. Sơ đồ mặt cắt tính áp suất tại đầu ra ở vị trí xa nhất được chỉ ra trên Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ mặt cắt tính áp suất tại đầu ra ở vị trí xa nhất

2.3. Tính toán máy bơm

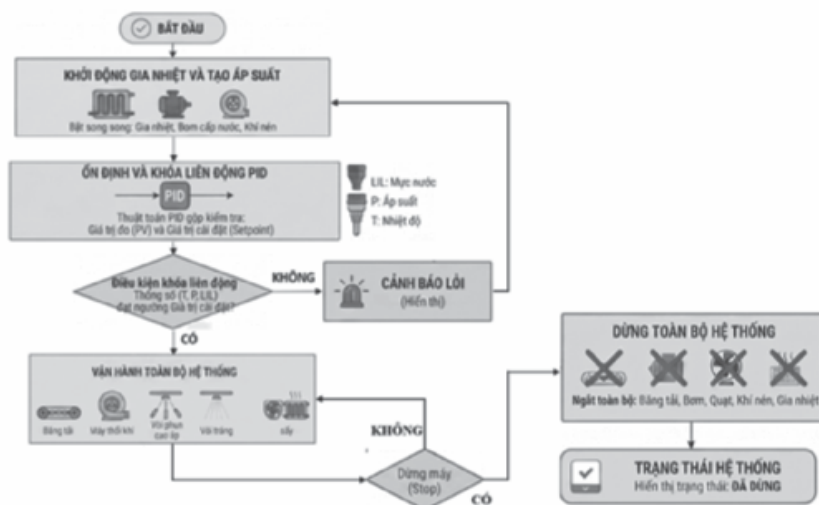
Từ phương trình Bernoulli áp dụng cho hai mặt cắt đầu vào và đầu ra hệ thống phun, cột áp yêu cầu được xác định là 25 m. Lưu lượng tính toán theo tiết diện ống và vận tốc dòng chảy ($v = 0,6$ m/s) cho kết quả chọn bơm công nghiệp trực ngang Adelino BW2-6: lưu lượng 60 l/phút, công suất 750 W.

2.4. Thiết kế hệ thống điều khiển

Bộ điều khiển trung tâm PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC (tốc độ xử lý $1,7\mu s$) được mở rộng qua các module SM 1231 RTD (đọc cảm biến PT100) và SM 1232 AQ (xuất tín hiệu Analog). Thuật toán PID (S.PID) [10] xuất xung PWM điều khiển relay bán dẫn SSR, cho phép đóng cắt tần số cao, loại bỏ hồ quang điện và duy trì sai số nhiệt độ dưới $\pm 1^\circ C$ tại các buồng rửa-sấy. Toàn bộ quy trình vận hành khép kín được mô hình hóa qua lưu đồ thuật toán trên Hình 5.

Logic điều khiển phối hợp ba lớp cảm biến (quang-nhiệt-mức nước): khi cảm biến quang phát hiện sản phẩm tiến vào khoang sấy, dao gió áp suất cao thổi nước đọng, giảm tải nhiệt cho buồng sấy và tối ưu hóa năng lượng toàn hệ thống.





Hình 5. Lưu đồ thuật toán điều khiển của hệ thống

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trên cơ sở các tính toán thiết kế ở Phần 2, hệ thống máy rửa bát bằng chuyên được hoàn thiện với bốn module chức năng liên tục. Phần này trình bày chi tiết kết quả thiết kế từng module, đánh giá tính hợp lý của các thông số và phân tích khả năng đáp ứng yêu cầu vận hành thực tế.

3.1. Module bể ngâm súc khí

Bể ngâm được thiết kế với kích thước 2,0 m × 1,0 m × 1,2 m (dài × rộng × cao), đủ chứa đồng thời nhiều mẻ bát đĩa trong thời gian ngâm tối thiểu theo tiêu chuẩn DIN 10510 [3]. Hệ thống bơm khí sục tạo dòng bong bóng liên tục giúp hòa tan và bóc tách dầu mỡ, làm mềm vết bẩn khô trước khi chuyển sang buồng phun rửa – giảm đáng kể yêu cầu áp lực tại các vòi phun, từ đó tiết kiệm năng lượng bơm.

Cơ cấu dẫn xích trong bể ngâm được thiết kế với góc nghiêng phù hợp để bát đĩa tự định vị theo hướng miệng bát hướng lên. Động cơ giảm tốc điều khiển tốc độ xích phân đoạn

bể ngâm được thiết lập thấp hơn hai buồng tiếp theo, đảm bảo thời gian ngâm đủ mà không gây dồn ứ tại điểm chuyển tiếp. Sơ đồ bể ngâm sục khí được chỉ ra trên Hình 6.



Hình 6. Bể ngâm sục khí

3.2. Module buồng phun rửa và tráng

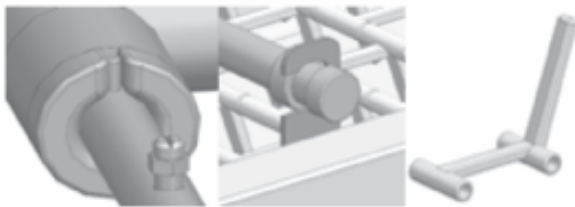
Cụm vòi rửa gồm 48 vòi phun hình nón phân bố trên 8 nhánh ống (4 ống trên, 4 ống dưới), đảm bảo phủ kín toàn bộ bề mặt bát đĩa cả hai phía. Đường kính ống nhánh Ø21,34 mm và ống tổng Ø42,7 mm được chọn theo tiêu chuẩn ống inox [9] và catalog MISUMI [8], tương thích với lưu lượng bơm 60 l/phút và áp

suất cột 25 m. Cụm vòi tráng thiết kế tương tự với 36 vòi/6 nhánh, lưu lượng thấp hơn nhưng sử dụng nước sạch nhiệt độ cao ($\geq 82^{\circ}\text{C}$ theo DIN 10510) để đảm bảo diệt khuẩn và hỗ trợ làm khô tự nhiên (Hình 7).

Góc phun của vòi được thiết kế nghiêng so với phương thẳng đứng để dòng nước tạo lực bóc tách tiếp tuyến trên bề mặt cong của bát đĩa, hiệu quả hơn so với phun trực diện. Cơ cấu định vị giúp các ống nhánh giữ nguyên phương vị trong suốt quá trình vận hành, tránh rung lắc do phản lực dòng chảy làm lệch hướng phun (Hình 8).



Hình 7. Cụm vòi rửa, tráng



Hình 8. Cơ cấu định vị vòi rửa tráng (trái), cơ cấu giữ cố định các nhánh vòi rửa tráng (giữa) và cánh nhô (phải)

3.3. Hệ thống xích tải và cánh nhô

Xích tải POM với bước xích đã tính toán vận hành xuyên suốt cả ba buồng (ngâm-rửa-sấy) mà không cần nối chuyển, loại bỏ hoàn toàn điểm dừng trung gian. Kết cấu cánh nhô trên mỗi mắt xích tạo góc nghiêng khoảng 15° so với phương ngang, giữ cố định bát đĩa không bị trượt khi đi qua đoạn dốc vào/ra bể ngâm,

đồng thời cho phép dòng nước phun thoát tự do qua khe hở giữa các mắt xích, tránh đọng nước cục bộ.

Nhựa POM có hệ số ma sát thấp ($\mu \approx 0,1-0,3$) và khả năng tự bôi trơn [4], phù hợp với môi trường ẩm ướt, hóa chất liên tục mà không cần bôi trơn định kỳ – giảm chi phí bảo trì. Kết quả mô phỏng động học xác nhận hệ thống xích vận hành trơn tru, không có hiện tượng nhảy xích hay kẹt tại các điểm chuyển hướng ở đĩa xích $Z = 7$ răng.

3.4. Module buồng sấy và hệ thống dao gió

Trước khi vào buồng sấy nhiệt, bát đĩa đi qua dao gió (air knife) áp suất cao được kích hoạt bởi tín hiệu từ cảm biến quang. Luồng khí thổi bay phần lớn nước đọng trên bề mặt, giảm tải nhiệt cho buồng sấy và rút ngắn thời gian sấy. Buồng sấy kết hợp quạt tuần hoàn không khí nóng với đèn halogen UV: nhiệt độ lưu đảm bảo sấy khô đồng đều, trong khi bức xạ UV ($\lambda = 254 \text{ nm}$) khử khuẩn bổ sung cho bề mặt bát đĩa sau rửa-tráng.

Hệ điều khiển PID + SSR duy trì nhiệt độ buồng sấy ổn định với sai số dưới $\pm 1^{\circ}\text{C}$, đảm bảo bát đĩa đầu ra đạt độ khô đồng nhất mà không bị quá nhiệt gây biến dạng với các loại nhựa. Đây là điểm khác biệt quan trọng so với các thiết kế không có vòng phản hồi nhiệt độ, vốn phụ thuộc vào điều kiện phụ tải thay đổi trong ca làm việc.

3.5. Đánh giá thiết kế tổng thể

Thiết kế tổng thể hệ thống (Hình 9) đáp ứng đầy đủ các yêu cầu đặt ra: năng suất 5.000 sản phẩm/giờ, vận hành liên tục không gián đoạn, và tiêu chuẩn vệ sinh theo DIN 10510. So với các dòng máy nhập khẩu (Meiko M-iQ [1], Hobart PROFI CN [2]), thiết kế nội địa hóa

này có ưu điểm về khả năng tùy biến kích thước buồng rửa theo thực tế bếp ăn Việt Nam, đồng thời sử dụng linh kiện thương mại sẵn có trong nước (bơm Adelino, PLC Siemens, ống inox Sơn Hà), giảm đáng kể chi phí đầu tư và thời gian bảo trì thay thế.

Một hạn chế cần lưu ý là nghiên cứu hiện dừng ở giai đoạn thiết kế và mô phỏng; các thông số thực nghiệm như mức tiêu thụ nước, hóa chất thực tế và chỉ tiêu vi sinh của bát đĩa đầu ra sẽ cần được kiểm chứng trong giai đoạn chế thử và vận hành thử nghiệm tiếp theo.



Hình 9. Thiết kế tổng thể của hệ thống rửa bát

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thiết kế thành công hệ thống máy rửa bát băng chuyền nội địa hóa với năng suất 3500 sản phẩm/giờ. Ba đóng góp kỹ thuật chính:

- Tối ưu thiết kế cơ khí: Hoàn thiện tính toán truyền động xích, bơm thủy lực, quạt sấy và lực kéo xích, đảm bảo vận hành liên tục ổn định trong môi trường công nghiệp.

- Kiểm soát nhiệt chính xác: PLC + PID + SSR duy trì sai số nhiệt độ dưới $\pm 1^{\circ}\text{C}$, đảm bảo chất lượng khử khuẩn đồng nhất theo DIN 10510.

- Đồng bộ chuyển động: Điều khiển vòng kín Servo loại bỏ va chạm và dồn ứ sản phẩm, cho phép vận hành liên tục không giám sát.

Hệ thống là cơ sở quan trọng để phát triển các giải pháp tự động hóa thông minh hơn cho ngành dịch vụ thực phẩm, đồng thời mở ra hướng nghiên cứu tiếp theo về tích hợp IoT và giám sát từ xa. ❖

Ngày nhận bài: **20/6/2026**

Ngày phản biện: **24/6/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. MEIKO, “*M-iQ Flight Type Dishwashing Machine*”, 2026.
- [2]. HOBART, “*PROFI CN Rack-Type Dishwasher*”, 2026.
- [3]. DIN 10510, “*Yêu cầu vệ sinh đối với máy rửa bát công nghiệp dạng băng chuyền nhiều bể*”. Viện Tiêu chuẩn Đức (DIN).
- [4]. M. F. Ashby và D. R. H. Jones, “*Engineering Materials 2*”, ấn bản 4. Butterworth-Heinemann, 2013.
- [5]. Trịnh Chất và Lê Văn Uyển, “*Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí – Tập 1*”, tái bản 4. NXB. Giáo dục Việt Nam, 2020.
- [6]. Trịnh Chất và Lê Văn Uyển, “*Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí – Tập 2*”, tái bản 4. NXB. Giáo dục Việt Nam, 2020.
- [7]. Vũ Duy Quang và Phạm Đức Nhuận, “*Kỹ thuật thủy khí*”. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2009.
- [8]. MISUMI, “*Mechanical Components for Assembly Automation 2*”, 2026.
- [9]. Sơn Hà, “*Quy cách ống inox*”, 2026.
- [10]. L. Wang, “*PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB/Simulink*”. Wiley-IEEE Press, 2009.