

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO MÁY IN 3D CHOCOLATE

**Nguyễn Trần Phong, Võ Phúc Việt, Lê Duy Trọng,
Nguyễn Huy Hoàng, Phạm Văn Toàn, Nguyễn Hữu Thọ***

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

*Email: *tho.nh@hufi.edu.vn*

Ngày nhận bài: 31/8/2020; Ngày chấp nhận đăng: 06/01/2021

TÓM TẮT

Công nghiệp in 3D là một xu hướng của cách mạng công nghiệp 4.0 và là xu thế của tương lai, dần thay thế việc chế tạo các chi tiết từ đơn giản đến phức tạp chỉ bằng vài thao tác nhỏ. Trong vài năm gần đây, ứng dụng công nghệ in 3D trong thực phẩm đang thu hút rất nhiều nhà nghiên cứu, đặc biệt trong lĩnh vực ẩm thực. Ở Việt Nam, lĩnh vực này chưa được tiếp cận nhiều. Do đó, nghiên cứu này ứng dụng các nền tảng của máy in 3D cho vật liệu nhựa PLA và ABS để xây dựng mô hình máy in 3D cho thực phẩm chocolate. Bài báo này đề xuất kết cấu cơ khí và điều khiển cho máy in 3D chocolate phục vụ lĩnh vực ăn uống và trang trí. Các kết quả được trình bày có trình tự từ việc tóm tắt quá trình hình thành ý tưởng, tính toán và thiết kế, chế tạo, lắp ráp và chạy mẫu thử nghiệm. Các kết quả về mẫu in chocolate cho thấy máy được thiết kế có khả năng đáp ứng việc in mẫu thỏa mãn hình dạng của mô hình thiết kế CAD.

Từ khóa: Công nghệ in 3D, máy in 3D, chocolate, thực phẩm.

1. GIỚI THIỆU

Công nghệ in 3D là một chuỗi kết hợp các công đoạn khác nhau để tạo ra một vật thể trong tọa độ không gian. Kodama đã đề xuất in 3D vào năm 1980 và cũng được xem là cha đẻ của công nghệ in 3D. Vào năm 1984, Stereolithography (STL) được cấp cho nhóm kỹ sư người Pháp nhưng cuối cùng đi vào bế tắc. Cho tới năm 1986, STL mới được đăng ký bản quyền thành công bởi Charles Hull và được phổ cập hóa cho đến ngày hôm nay [1].

Qua 40 năm hình thành và phát triển, công nghệ in 3D trên thế giới đạt được rất nhiều thành tựu đáng chú ý trong lĩnh vực xây dựng, ô tô, hàng không, y học...

Ở Việt Nam và trên thế giới, các thông tin về in 3D cũng đang là xu hướng quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu [2, 3]. Việc du nhập công nghệ in 3D vào năm 2003 nhưng vì giá thành khá cao nên không được sử dụng rộng rãi, đa số nằm trên giấy tờ nên việc ứng dụng vào thực tế vẫn còn mang tính chất thử nghiệm [4]. Thành tựu nổi bật nhất ở Việt Nam được ghi nhận là in mảnh sọ bằng methyl methacrylate để vá lỗ thủng trên đầu nạn nhân [5].

Sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật và phát triển của xã hội ngày nay khiến cho thực phẩm không chỉ đơn thuần là để đáp ứng được nhu cầu thiết yếu của con người mà còn là sự thưởng thức tinh tế và nghệ thuật trong các món ăn. Tạo hình cho thực phẩm chủ yếu sử dụng khuôn đúc và sự khéo tay của người đầu bếp. Việc tạo ra hàng loạt các sản phẩm làm từ thực phẩm giống nhau đặt ra nhiều thử thách, đặc biệt là với chocolate. Việc tạo hình chocolate từ xưa tới nay chủ yếu dùng khuôn là chính. Tuy nhiên, khuôn không thể đúc ra các hình dạng phức tạp. Với những nguyên do trên và qua tìm hiểu, khảo sát về nhu cầu máy

thực phẩm thì máy in 3D chocolate là một hướng đi mới góp phần vào công cuộc đổi mới theo thời đại công nghiệp 4.0. Vì vậy, nghiên cứu, thiết kế và chế tạo máy in 3D chocolate phục vụ trong ngành thực phẩm đã và đang thu hút sự quan tâm từ giới nghiên cứu, đây là lĩnh vực mới và nhiều thử thách [3, 6-10]. Máy có thể tạo ra các hình dạng chocolate mới để phục vụ cho thị trường có nhu cầu cao vì nó là một trong những thực phẩm sử dụng nhiều trong ẩm thực bánh ngọt và trang trí. Do vậy, nghiên cứu thiết kế và chế tạo máy in 3D chocolate sẽ mang lại tiềm năng lớn, giúp cho việc tạo hình 3D vật liệu chocolate đơn giản, dễ thực hiện, có hình dạng phức tạp và thẩm mỹ để thỏa mãn nhu cầu đa dạng ngày càng cao của khách hàng.

2. PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ

2.1. Cấu trúc máy in 3D

Kết cấu máy in 3D bao gồm các thành phần như động cơ, điện tử, vít me đai ốc bi, ổ bi, kết cấu khung, đai răng, đầu phun, vật liệu in, bo mạch, công tắc hành trình, cảm biến, đầu phun, nguồn cung cấp điện, bàn in, đế in và hệ thống điều khiển với màn hình tương tác người dùng [12, 13]. Tất cả kết hợp để tạo thành một máy hoàn chỉnh và hoạt động ổn định.

Cấu trúc cơ khí của một máy in 3D gần giống với các loại máy CNC (Computer Numerical Control) với truyền động của các trục. Bộ truyền có thể là bộ truyền vít me - đai ốc hoặc bộ truyền đai. Đặc điểm của truyền động cơ khí trong máy in 3D là tải trọng tác dụng không đáng kể. Do đó, việc thiết kế tương đối đơn giản, kết cấu các trục tương đối gọn nhẹ, các chi tiết lắp ráp không đòi hỏi về khả năng chịu lực cao. Do vậy, ta có thể sử dụng các chi tiết in được bằng các máy in 3D khác để lắp ráp. Đó cũng là một ưu điểm của các máy in 3D.

Phần điện của máy in 3D có thể chia thành 2 khối: khối điều khiển và khối chấp hành. Khối điều khiển gồm các thành phần như: vi điều khiển, board kết nối, driver. Khối chấp hành gồm các thành phần như: động cơ bước, các cảm biến nhiệt, động cơ servo (nếu có), tản nhiệt... Tiếp theo là bộ phận đèn, một trong những phần quan trọng nhất trong máy. Bộ phận này thực hiện 2 chức năng trong máy: bộ tời cung cấp chạy vật liệu liên tục, đầu phun thực hiện chức năng nung chảy và đèn tạo nên mẫu theo từng lớp.

Phần mềm được chia làm 2 thành phần: phần mềm CAD/CAM và phần mềm điều khiển. Phần mềm CAD (Computer Aided Design) là các phần mềm có chức năng tạo mẫu 3D. Mô hình này sẽ được in trên máy in 3D. Các phần mềm CAD được sử dụng có thể là CATIA, UGS NX, Solid Edge, Autodesk Inventor, FreeCAD, Solidworks, PTC Creo, Sketchup.... Các mô hình 3D sau khi được tạo ra phải được chuyển đổi sang định dạng tệp *.STL từ đó có thể đưa sang các phần mềm CAM (Computer Aided Manufacturing) như CURA để xử lý tiếp theo. Các phần mềm CAM là phần mềm thực hiện các chức năng cắt lớp vật thể do công nghệ in 3D là in theo từng lớp, lớp cắt càng có kích thước nhỏ thì chất lượng mẫu in càng tốt. Tuy nhiên, thời gian in sẽ tăng lên và ngược lại, lớp in càng lớn thì chất lượng giảm và tốc độ in tăng lên. Để tối ưu hóa giữa chất lượng in và tốc độ in thì phải cài đặt các thông số vận hành máy in hợp lý. Sau khi cắt lớp phần mềm sẽ tạo chuyển động khi in và xuất sang tệp *.Gcode. Các mã lệnh Gcode hầu hết tương tự với Gcode trên máy CNC nhưng có một số mã lệnh riêng đối với máy in 3D.

2.1.1. Phân loại máy in 3D

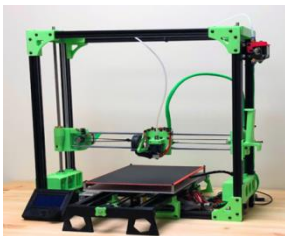
Máy in 3D thường có cấu trúc theo 4 dạng như: Cartesian, Delta, Polar và SCARA. Trong đó, cấu trúc dạng Cartesian là các máy in 3D di chuyển đầu đèn nhựa nhờ các chuyển động theo phương X, Y, Z trong hệ tọa độ Cartesian (Hình 1a). Đại diện tiêu biểu dòng máy

in 3D mã nguồn mở loại Cartesian chính là Prusa i3 hay Mendel. Máy in 3D kiểu Cartesian được phát triển từ những năm 2010 bởi Josef Prusa. Đây là một trong những mẫu máy in 3D công nghệ FDM (Fused Deposition Modeling) khá phổ biến trên thị trường hiện nay [14]. Máy này có ưu điểm là lắp ráp, căn chỉnh và bảo dưỡng dễ dàng, cộng đồng mã nguồn mở lớn, phù hợp với người mới bắt đầu làm quen công nghệ in 3D. Nhược điểm: Khối lượng các cơ cấu di động lớn, nên tốc độ in không cao và gây ồn. Khi hoạt động máy thường bị rung và do vậy làm giảm độ chính xác. Kích thước ngang lớn, thường bị hạn chế chiều cao vật in.

Kiểu cấu trúc thứ hai là Delta. Delta là các máy in 3D di chuyển đầu đùn nhựa theo nguyên lý của robot delta (robot song song). Đại diện tiêu biểu cho dòng máy in mã nguồn mở dạng Delta là Delta robot 3D printer (Kossel) như mô tả trong Hình 1b. Dòng máy này sử dụng cơ cấu delta, công nghệ in FDM, loại nhựa thường được sử dụng là nhựa ABS và PLA. Ưu điểm là khối lượng các cơ cấu di động nhỏ và một phần di chuyển theo các trục thẳng đứng hoạt động êm, ít rung, tốc độ cao và chính xác có thể in được vật in có chiều cao lớn. Bàn nhiệt (nơi đặt vật in) không di chuyển trong suốt quá trình in nên vật in được giữ chắc chắn hơn. Khung bê chắc chắn. Nhược điểm là lắp ráp, căn chỉnh máy hơi phức tạp, nhưng khi đã đã thạo thì rất dễ. Máy này thường đắt hơn một chút so với máy dạng Cartesian.

Polar là loại máy in 3D này mới và ít phổ biến hơn hai loại trên. Đầu đùn nhựa di chuyển theo nguyên lý của tọa độ cực. Máy in 3D polar được phát triển bởi Công ty Autodesk năm 2015 như Hình 1c. Đây là dòng máy in sử dụng công nghệ SLA, sử dụng vật liệu là loại nhựa ABS, PLA... Ưu điểm là kiểu dáng mới. Máy hoạt động ít bị rung lắc như kiểu Cartesian. Kích thước vật in có thể lớn. Nhược điểm là mômen quán tính của bàn nhiệt lớn, tốc độ in không cao, lắp ráp và hiệu chỉnh máy khó và giá thành cao.

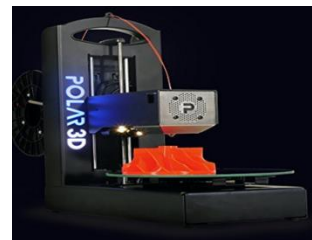
Dựa vào những ưu và nhược điểm được phân tích ở trên, nghiên cứu này quyết định lựa chọn phương án thiết kế kết cấu máy in theo dạng Cartesian.



a. Máy Cartesian [15]



b. Máy Delta [15]



c. Máy Polar [15]

Hình 1. Các dạng kết cấu máy in 3D

2.1.2. Quy trình tạo mẫu sản phẩm in 3D

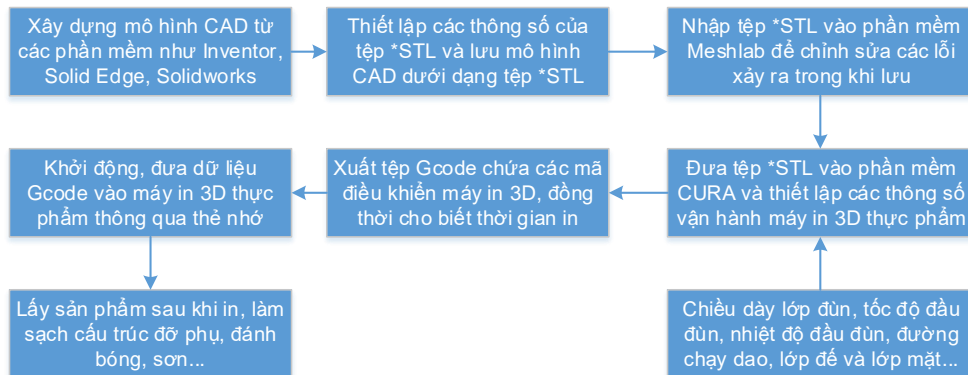
Quy trình tạo mẫu các sản phẩm in 3D thực phẩm cũng tương tự như các loại máy in khác cho vật liệu nhựa, bao gồm 3 bước được thể hiện như trong Hình 2.

Bước 1: Tạo mô hình 3D dạng mặt hay khối sử dụng phần mềm CAD như Autodesk Inventor, CATIA, UGS NX, Solidworks và Solid Edge...

Bước 2: Tiền xử lý, bao gồm các công việc như: đổi định dạng file CAD 3D sang tệp *.STL xấp xỉ bề mặt dưới dạng tam giác. Tệp *.STL là tệp trung gian giao tiếp giữa hệ thống CAD và máy in. Sử dụng các phần mềm thiết kế các cấu trúc đỡ phụ, kiểm tra và chỉnh sửa lỗi tệp *.STL dùng phần mềm MeshLab và cắt lớp chi tiết với phần mềm CURA. Thiết lập các thông số vận hành máy in trên phần mềm CURA và xuất file tệp Gcode tạo đường chuyển động để giao tiếp với máy in 3D thông qua cáp nối trực tiếp giữa máy tính và máy in hoặc thẻ nhớ lưu tệp Gcode cắm vào máy in.

Bước 3: Tạo mẫu tự động.

Bước 4: Hậu xử lý, bao gồm các công việc như: tháo các cấu trúc đỡ phụ, xử lý bề mặt, đánh bóng và sơn màu...



Hình 2. Quy trình tạo mẫu sản phẩm in 3D

2.2. Thiết kế kết cấu của máy in 3D

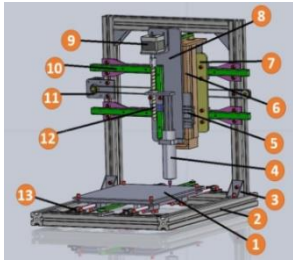
Kết cấu máy được chia làm 2 phần chính: Phần cơ khí bao gồm: khung máy, bộ đèn, các tấm giá...; và phần điện bao gồm chủ yếu sử dụng mạch MEGA2560, RAMPS 1.4 và A4988...

2.2.1. Về thiết kế cơ khí

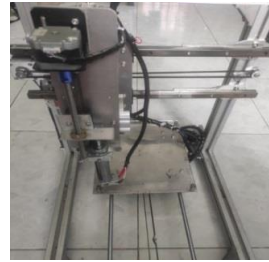
Hệ thống cơ khí của máy in được mô tả thực tế trong các Hình 3 và 4. Chi tiết quan trọng nhất là vít me đai ốc bi của cụm trục Z có đường kính $D = 10$ mm. Nghiên cứu này sử dụng bộ đèn nặng và cần lực ép lớn nên các vít me có bước từ 10 mm trở lên không đạt yêu cầu về độ cứng vững khiến cho động cơ bị trượt bước dẫn đến sai số. Trải qua quá trình tính toán và thực nghiệm, nghiên cứu này đã chọn vít me có bước bằng 6 mm. Để đảm bảo truyền động từ động cơ sang các cơ cấu chấp hành của cụm X và Y, đai GT2 được sử dụng với các thông số như bước răng 2 mm và rộng 8 mm. Về phần đầu đèn chocolate, qua tính toán dùng một vít me có đường kính $D = 8$ mm, bước $P = 8$ mm. Về phần tính xung, áp dụng các công thức tính xung và đo thông số vít me bằng thước cặp tính được các thông số như sau đối với cụm X, Y, ta có xung bằng 80, cụm Z và bộ đèn có xung lần lượt là 400 và 5.

Trục Z là trục ít di chuyển nhất trong quá trình làm việc, tuy nhiên nó có yếu tố quyết định đến chất lượng sản phẩm rất lớn do liên quan đến thông số chiều dày một lớp in, thông số này ảnh hưởng đến độ bóng cũng như dung sai kích thước về chiều cao của chi tiết. Đối với trục Z, ta sử dụng truyền động vít me - đai ốc bi. Trục X và Y đòi hỏi tốc độ in nhanh nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác. Vì vậy, nghiên cứu đã sử dụng bộ truyền đai GT2 cho trục X và Y. Phần khung máy gồm các thanh nhôm định hình (2) có kích thước (30×30) mm chịu lực và đảm bảo độ cứng vững của máy. Máy sử dụng cặp ray trượt (10) để dẫn động cho trục X. Ray giúp dẫn hướng chính xác hơn, giảm độ rơ và tăng độ cứng vững cho máy. Ray là bộ phận chịu toàn bộ tải trọng của bộ đèn cũng như lực ép xuống của đầu đèn. Tiếp theo là 2 trục có đường kính $\varnothing 8$ mm được gắn cố định vào các giá cố định trục chữ T (13) dùng để dẫn hướng cho bàn in (1). Các tấm nhôm dày 5 mm (7, 8, 11) được gia công để làm các tấm đỡ động cơ và cụm trục Z. Về hệ thống đèn gồm có ray trượt (5) để dẫn hướng. Trục vít me (12) truyền lực ép chocolate trong xylanh (4). Xylanh được gia công bằng nhôm để tăng khả năng chịu nhiệt độ, duy trì lực ép không đổi trong suốt quá trình in. Đầu kim có kích thước $\varnothing 1,4$ mm được gia công bằng inox. Tất cả các chi tiết tiếp xúc với chocolate đều bền

với nhiệt độ cao hơn chocolate gấp nhiều lần, thân thiện với môi trường, và làm tăng tính vệ sinh an toàn thực phẩm.



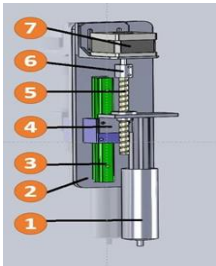
a. Bản vẽ cấu tạo máy in 3D chocolate



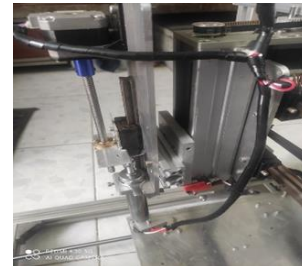
b. Mô hình cấu tạo máy in 3D chocolate

Cấu tạo của máy in 3D gồm: (1) bàn in, (2) thanh nhôm định hình, (3) gân tăng cứng, (4) xylanh, (5) bộ phận dẫn hướng, (6) ống tròn định hướng, (7, 8) tấm nhôm, (9) động cơ, (10) cặp ray trượt, (11) tấm nhôm dày 5 mm, (12) trục vít me, (13) giá cố định trục chữ T.

Hình 3. Mô hình cơ khí máy in 3D thực phẩm



a. Bản vẽ cụm đầu đùn gồm: (1) xylanh, (2) tấm đế, (3) ray kẹp, (4) tấm đỡ vít me, (5) trục vít me, (6) khớp nối, (7) động cơ.



b. Mô hình cụm đầu đùn

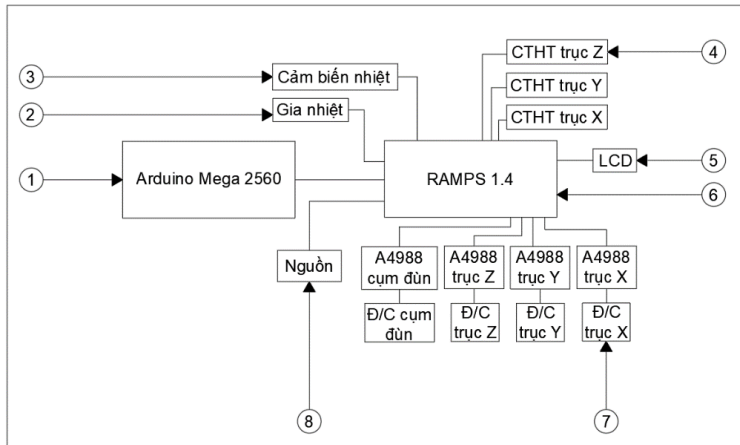
Hình 4. Cụm đầu đùn chocolate

Một hệ thống khác cũng chiếm tầm quan trọng như vít me đai ốc bi. Nó quyết định đến sự thành công của một máy in 3D là hệ thống đầu đùn. Về thiết kế hệ thống, đầu đùn khá đơn giản gồm có 1 ray trượt dẫn hướng, sử dụng vít me và đai ốc để dẫn hướng và tạo lực ép cho bộ đùn (Hình 4a và 4b). Gắn với đai ốc và cụm trượt của ray là một tấm nhôm cho phép truyền lực ép lên xylanh. Từ đó làm cho cho xylanh di chuyển xuống và đẩy vật liệu chocolate nóng chảy. Lực ép được tính toán dựa trên các thông số như đường kính mũi kim, đường kính thành ống và vận tốc chảy của chocolate tại đầu đùn. Hệ thống được truyền động bởi một động cơ bước. Khi động cơ bước quay với vận tốc được tính toán từ trước sẽ tạo ra một lực ép vừa đủ để đạt được vận tốc ra của chocolate tại đầu kim. Vận tốc này phải thỏa mãn yêu cầu để không phá vỡ cấu trúc của chocolate khi tiến hành in. Đối với loại chocolate dùng để in thì xung nhập vào động cơ bước thường nằm trong khoảng 5-8. Về thiết kế, đây là một cơ cấu đơn giản, nhưng độ ổn định và hiệu quả rất cao. Lượng chocolate đi ra khỏi xylanh tại mũi kim khá ổn định và đạt đúng yêu cầu. Về phần xylanh, nghiên cứu sử dụng inox để có thể gia nhiệt cho chocolate đạt được trạng thái phù hợp nhất đối với việc in 3D. Đường kính trong của xylanh là 20 cm. Dung tích xylanh đạt được 20 mL. Đối với dung tích này có thể in các chi tiết vừa và nhỏ. Nhóm có gia công thêm một tấm nhôm để có thể định vị ống xylanh nằm đúng vị trí. Sử dụng các bu lông M4 để cố định cũng như kẹp chặt xylanh để đảm bảo ổn định trong quá trình in. Cơ cấu này cho phép lấy xylanh ra khỏi máy một cách dễ dàng để tiếp thêm nguyên liệu cho quá trình in. Đầu kim được gia công bằng inox 304 đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm và chịu được nhiệt độ khi tiến hành gia nhiệt cho chocolate. Khoảng cách thích hợp giữa đầu kim và bàn in được tính trong khoảng 0,6-0,8 mm để đạt được đường in đẹp và chắc chắn nhất. Hệ thống đùn được thiết kế bằng các tấm nhôm nên

đảm bảo về độ cứng vững và tỏa nhiệt trong quá trình in khiến cho máy không bị nóng quá ảnh hưởng tới quá trình in. Trọng lượng của bộ đèn nặng khoảng 2,5 kg là một trọng lượng nặng đối với một máy in 3D. Bộ đèn này vẫn chưa thực sự tối ưu về trọng lượng. Chỉ có thể ép từ trên xuống chứ chưa kéo từ dưới lên được. Đây cũng là giới hạn của nghiên cứu và cần được cải tiến trong các phiên bản tương lai.

2.2.2. Thiết kế điện và điều khiển

Về phần điện: Mạch điều khiển RAMPS 1.4 được kết nối với vi điều khiển Arduino Mega 2560. Các động cơ dẫn động các trục X, Y, Z, các cảm biến vị trí, nhiệt độ, màn hình hiển thị được kết nối với mạch điều khiển RAMPS 1.4 như được thể hiện trong Hình 5.

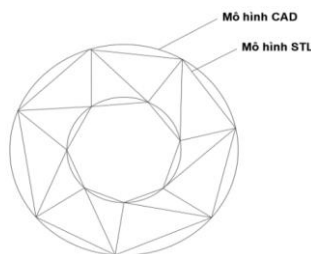


Hình 5. Sơ đồ khối mạch điều khiển máy In 3D chocolate.

- (1) Arduino MeGA 2560, (2) Bộ gia nhiệt, (3) Cảm biến nhiệt, (4) Cụm công tắc hành trình 2 trục X,Y,Z, (5) Màn LCD, (6) RAMPS 1.4, (7) Động cơ bước 4 trục X,Y,Z,E, (8) Nguồn.

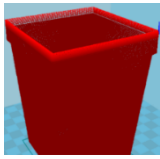
3. ĐỊNH DẠNG TỆP *.STL

3.1. Về dạng file mà phần mềm sử dụng

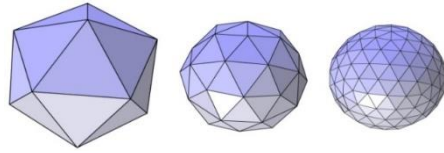


Hình 6. Tệp *.STL

Tệp STL lưu trữ thông tin về các mô hình 3D (Hình 6). Định dạng này chỉ mô tả hình dạng bề mặt của một đối tượng 3 chiều mà không có bất kỳ biểu hiện nào về màu sắc, kết cấu hoặc các thuộc tính mô hình phổ biến khác. Các tệp này thường được tạo bởi chương trình thiết kế hỗ trợ máy tính (CAD), như một sản phẩm cuối cùng của quy trình mô hình 3D. Định dạng tệp *.STL là định dạng tệp được sử dụng phổ biến nhất để in 3D. Khi được sử dụng cùng với máy cắt 3D, nó cho phép máy tính giao tiếp với phần cứng máy in 3D. Mục đích chính của định dạng tệp *.STL là mã hóa hình dạng bề mặt của vật thể 3D (Hình 7).



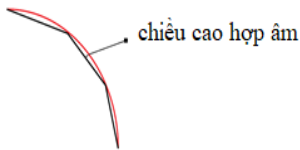
Hình 7. Một file bản vẽ đã chuyển sang file STL



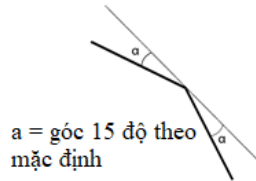
Hình 8. Độ mịn (độ phân giải) bề mặt ngoài của vật

Định dạng *.STL là quỹ tích của các mặt tam giác phẳng lắp ráp liên tục với nhau thể hiện bề mặt của vật thể trong không gian 3 chiều. Do định dạng *.STL sử dụng các yếu tố mặt phẳng nên nó không thể hiện bề mặt cong một cách chính xác. Tăng số lượng mặt tam giác có thể cải thiện độ mịn của bề mặt cong nhưng bù lại dung lượng tệp sẽ tăng. Các chi tiết lớn, phức tạp sẽ cần nhiều thời gian cho khâu tiền xử lý và xây dựng định dạng *.STL (Hình 8). Do đó, người thiết kế phải xem xét giữa yếu tố thời gian, dung lượng file và độ chính xác để có được một tệp *.STL hợp lý.

3.2. Thông số của tệp STL



Hình 9. Độ lệch

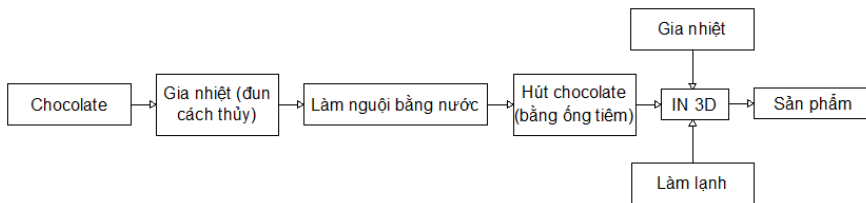


Hình 10. Góc giữa pháp tuyến của hai tam giác liền kề

Chiều cao hộp âm là khoảng cách tối đa từ bề mặt của thiết kế ban đầu và lưới STL (Hình 9). Nếu chọn dung sai phù hợp, bản in chi tiết trông mượt mà và không bị thô. Rõ ràng là chiều cao hộp âm càng nhỏ, các mặt càng thể hiện chính xác bề mặt thực tế của mô hình. Đây là khoảng cách giữa bề mặt của bản vẽ gốc và các hình tam giác (xếp lớp hoặc lát gạch). Góc giới hạn góc giữa các chuẩn của các tam giác liền kề. Góc mặc định thường được đặt ở 15 độ (Hình 10). Giảm độ lệch (có thể dao động từ 0 đến 1) cải thiện độ phân giải khi in.

4. NGUYÊN LIỆU

4.1. Quy trình chuẩn bị chocolate



Hình 11. Quy trình chuẩn bị chocolate

Hình 11 trình bày quy trình chuẩn bị vật liệu chocolate. Bước đầu của quy trình là xử lý chocolate. Tiến hành đun cách thủy chocolate có hàm lượng ca-cao phù hợp. Khi chocolate đã chuyển từ dạng rắn sang dạng lỏng hoàn toàn, ta tiến hành bơm chocolate vào ống tiêm. Khi bơm chocolate vào, chocolate phải không có không khí trong xy lanh dẫn đến lượng chocolate ra không đều khi in. Tiến hành gắn ống bơm vào hệ thống đun. Lúc này, chocolate đã nguội và chuyển thành dạng rắn sẽ gây khó khăn cho quá trình in 3D. Sử dụng đầu gia nhiệt để đưa chocolate về dạng lỏng thích hợp cho việc in. Khoảng nhiệt độ để chocolate đạt trạng thái thích hợp nhất khi in là 32 °C. Khi nhiệt độ đã đạt và ổn định, tiến hành mở máy và bắt đầu in.

4.2. Vật liệu thực phẩm chocolate

4.2.1. Giới thiệu

Chocolate được làm từ hạt ca-cao được sấy khô và nghiền nhỏ. Chocolate là hỗn hợp giữa ca-cao và bơ ca-cao, được cho thêm đường, sữa và những chất khác vào, và cuối cùng được đóng thành dạng thanh.

4.2.2. Phân loại chocolate

Chocolate đắng, hay bột chocolate là loại chocolate nguyên chất, đậm mùi và có vị đắng tự nhiên của ca-cao. Sau khi được trộn với đường, nó là nguyên liệu của những sản phẩm bánh có chứa chocolate khác nhau như bánh ngọt, bánh quy... Chocolate đen là chocolate không pha lẫn sữa, đôi khi nó còn được gọi là "chocolate nguyên chất". Chính phủ Hoa Kỳ quy định phải có ít nhất 10% chất chocolate đặc, còn ở châu Âu thì quy định là 35%. Chocolate sữa là chocolate được pha lẫn với bột sữa hay sữa đặc nhằm tạo vị ngọt. Chính phủ Mỹ quy định phải có ít nhất 10% chất chocolate đặc, còn EU thì quy định là 25% chocolate ngọt vừa thường được dùng trong nấu ăn [16]. Nó chính là chocolate đen với hàm lượng đường rất cao bên trong. Chocolate ngọt đắng là một loại chocolate chứa đường, nhiều bơ ca-cao hơn, ngoài ra còn chứa thêm lecithin và vani. Nhiều hãng sản xuất thường ghi trên bao bì hàm lượng ca-cao chứa bên trong và có một quy luật như sau: "càng nhiều ca-cao thì chocolate sẽ càng đắng".

Couverture là một loại chocolate chứa nhiều bơ ca-cao hơn. Những loại này có chứa rất nhiều ca-cao (hơn 70%) và có hàm lượng chất béo cao (30-40%) [16]. Chocolate trắng là bơ ca-cao được pha chế mà không có ca-cao đặc. Bột ca-cao là loại ca-cao đặc gần như nguyên chất mà không có bơ ca-cao. Bột ca-cao có màu nhạt, có tính axit và mùi chocolate rất mạnh.

4.3. Nhiệt độ lý tưởng để in chocolate

Bảng 1. So sánh nhiệt độ in chocolate [17]

Nhiệt độ chocolate	Trạng thái	Khả năng in	Khả năng làm lạnh	Ảnh hưởng đến động cơ
≤ 30	Khô rắn	Không thể in		
32	Sệt	Khả năng in tốt để tạo thành khối	Chocolate đông cứng nhanh khi được thổi khí lạnh	Yêu cầu cung cấp nhiều xung để kéo xy lạnh
34	Nhão	Có khả năng tạo khối nhưng dễ bị sập khi lên lớp cao	Chocolate đông cứng chậm khi được thổi khí lạnh	Yêu cầu cung cấp xung vừa phải
≥ 34	Lỏng	Khó dựng hình và dễ bị chảy xung quanh	Chocolate không thể đông cứng trong khi in	Khó canh chỉnh tốc độ động cơ

Qua Bảng 1 so sánh nhiệt độ in chocolate, nghiên cứu này chọn nhiệt độ in phù hợp là 32 °C.

4.4. Bảo quản máy in 3D chocolate

Trong điều kiện thời tiết và khí hậu nhiệt đới ẩm gió mùa của Việt Nam, việc bảo quản bảo dưỡng máy in 3D chocolate là rất cần thiết. Do đó, việc nắm vững một số yêu cầu trong quá trình sử dụng cũng như việc bảo quản máy in 3D chocolate không chỉ làm cho máy luôn

hoạt động tốt, mà còn kéo dài được tuổi thọ và tiết kiệm chi phí khi sử dụng máy. Dưới đây là một số cách giúp máy hoạt động bền bỉ và ổn định hơn:

Vị trí đặt máy: Đặt nơi bằng phẳng, thông thoáng, dây điện, mạch điện đi gọn gàng, tránh xa tầm tay của trẻ em. Đặc biệt tránh xa ánh nắng mặt trời trực tiếp để tránh làm biến dạng sản phẩm trong quá trình làm việc vì chocolate tan chảy ở nhiệt độ từ 32 °C, yếu tố quan trọng làm giảm chất lượng sản phẩm và giảm tuổi thọ của máy.

Vệ sinh máy: Vệ sinh máy sau khi làm việc xong để tránh bụi bẩn bám vào, nhất là lượng chocolate sau khi in xong còn vương vãi. Ngoài ra, không nên để máy in ngừng hoạt động quá lâu, ít nhất một tuần cho máy in một lần.

Bảo trì, bảo dưỡng: Căng dây đai 5 tháng 1 lần đối với máy thường xuyên hoạt động, vệ sinh kim phun sau mỗi lần sử dụng. Tra dầu mỡ thường xuyên để máy hoạt động trơn tru hơn.

Lựa chọn nguyên liệu chocolate phù hợp: Chọn nguyên liệu in cũng là việc khá quan trọng trong bảo quản, bảo dưỡng máy in 3D chocolate. Bởi nếu chọn loại chocolate kém chất lượng không chỉ làm tắc nghẽn đầu đùn mà còn làm sản phẩm in ra không được như ý bởi cấu tạo của mỗi loại chocolate sẽ khác nhau, do đó nên chọn đúng loại chocolate.

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nghiên cứu đã thiết kế, chế tạo, vận hành và thử nghiệm máy in 3D chocolate. Kết cấu cơ khí nhỏ gọn và hoạt động ổn định. Nguyên liệu cũng là một nhân tố quan trọng góp phần vào sự thành công cho máy in 3D thực phẩm. Chocolate được sử dụng để kiểm chứng mô hình máy đã thiết kế và chế tạo. Đối với chocolate, nhiệt độ phù hợp để in chocolate khoảng 33-35 °C. Trải qua quá trình in thử và kiểm tra độ bền cho thấy máy hoạt động ổn định, các chi tiết cơ khí được vận hành tốt, các hệ thống điện tử hoạt động tốt nhưng vẫn còn có một số ít lỗi do phần mềm. Các sản phẩm đã được hoàn thành từ 2D đến 3D. Hình 12 là máy in 3D thực phẩm thực tế đã được thiết kế và chế tạo. Hình 12 trình bày 2 hướng nhìn của máy in 3D chocolate, thể hiện rõ nguyên lý truyền động sử dụng bộ truyền đai và cơ cấu vít me đai ốc bi.



Hình 12. Máy in 3D chocolate được chế tạo thực tế



Hình 13. Sản phẩm in 3D chocolate

Chocolate được in ở nhiệt độ 45 °C cho thấy nhiệt độ này là chưa phù hợp với chocolate, khiến các đường biên bị biến dạng, chảy xệ và òn lên lớp in ở dưới (Hình 13). Hình 13 cho thấy sản phẩm chưa đạt yêu cầu vì ảnh hưởng của nhiều yếu tố như nhiệt độ, chiều dày lớp in, chế độ làm khô chocolate sau khi in, và cấu trúc đỡ phụ... Chocolate chưa khô nhanh dẫn đến kết cấu của sản phẩm không bền vững, độ bền không cao và chưa có tính thẩm mỹ cho sản phẩm.



Hình 14. Sản phẩm in 3D chocolate

Qua nghiên cứu và thực nghiệm nhiệt độ tốt nhất để in 3D chocolate (được đo tại đầu in) là 32-36 °C. Tốc độ in cũng ảnh hưởng lớn đến chất lượng của sản phẩm. Tốc độ phù hợp trong khoảng 5 m/phút. Hình 14 thể hiện sản phẩm chocolate có hình dạng và mẫu mã cải tiến hơn nhiều khi được in ở 35 °C.

Máy in 3D thực phẩm được chế tạo đã tạo ra sản phẩm có độ bóng bề mặt đạt yêu cầu đặt ra của nhóm nghiên cứu. Máy đã phần nào giải quyết được vấn đề tạo hình 3D cho chocolate, thay thế dần việc sử dụng khuôn để tạo hình cho chocolate. Đây là bước đi tiên phong, tạo nền tảng kiến thức ban đầu để tiếp tục nghiên cứu và phát triển nhiều hơn nữa nhằm cải tiến chất lượng máy và sản phẩm in. Đối với máy in đã chế tạo, máy có các ưu điểm như in được sản phẩm có độ chính xác tương đương với yêu cầu trong bản vẽ. Các sản phẩm được tạo ra tương đối ổn định, các đường lớp (layer) đều nhau không có hiện tượng chảy xệ, đổ sập khi in các chi tiết có chiều cao trên 40 cm. Tất cả các chi tiết đều được gia công bằng nhôm và có độ dày lớn giúp hệ thống cơ khí có độ cứng vững cao, chịu được chấn động trong quá trình in, giúp cho các đường in không bị lệch trong quá trình in. Vì được gia công bằng nhôm nên tránh được các tình trạng gỉ sét, oxy hóa ảnh hưởng tới độ bền của máy cũng như tính thẩm mỹ. Các thành phần trong máy đều thân thiện với môi trường, ít phản ứng khi gặp nhiệt độ cao và đảm bảo tính vệ sinh an toàn thực phẩm. Phần điều khiển chính xác đúng với yêu cầu thiết kế, hệ thống điện tử hoạt động chính xác, điều khiển các hệ thống cơ khí vận hành một cách hiệu quả. Máy hoạt động tương đối ổn định, gọn nhẹ giúp dễ dàng vận chuyển từ nơi này sang nơi khác. Máy có tủ điện tách rời để thay thế các linh kiện điện tử khi có sự cố. Các đường dây điện được quấn một cách gọn gàng tránh ảnh hưởng trong quá trình in. Tuy nhiên, máy chế tạo vẫn còn tồn tại nhiều nhược điểm cần cải tiến như phần điện tử vẫn hay có lỗi trong quá trình in, bộ đun hoạt động chưa thực sự hiệu quả còn hiệu chỉnh và mất nhiều thời gian trong quá trình chuẩn bị. Trong thời gian máy hoạt động không thể tiếp thêm nguyên liệu chocolate vào, khiến cho máy chỉ in được các chi tiết có kích thước nhỏ phù hợp với lượng chocolate có sẵn trong xylanh. Trong quá trình in, khi in quá nhanh các lớp in chưa chuyển sang trạng thái rắn, còn lỏng khiến cho kết cấu của sản phẩm không được cứng vững và giảm tính thẩm mỹ. Do vậy, hệ thống cần có thiết bị làm lạnh đưa chocolate về nhiệt độ 16 °C để khắc phục hiện tượng này. Trong xylanh còn có hiện tượng bọt khí ảnh hưởng rất lớn đến quá trình in cũng như tính thẩm mỹ của máy. Các bọt khí này khiến cho chocolate được ép ra một cách không đều, đôi khi chạy một vài lớp in thì vật liệu chocolate không ra khỏi đầu đùn. Quá trình chuẩn bị còn mất rất nhiều thời gian và trải qua nhiều công đoạn. Hiện tại, nghiên cứu chưa thể tìm kiếm được một loại chocolate ổn định trong quá trình in. Nghiên cứu này còn hạn chế ở chỗ máy in 3D thực phẩm chỉ có thể in

được chocolate mà chưa in được các loại vật liệu khác để tăng tính đa dạng và linh hoạt cho sản phẩm nhằm đáp ứng nhu cầu khách hàng.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này trình bày quy cách thiết kế, chế tạo máy in 3D thực phẩm chocolate, quy trình này trải qua nhiều giai đoạn: từ việc xác định loại chocolate phù hợp, thiết kế hệ thống cơ khí sao cho đảm bảo độ cứng vững và hoạt động ổn định đến phần điều khiển điện. Nghiên cứu và cách sử dụng các phần mềm để điều khiển máy in 3D chocolate cũng đã được đề cập. Tất cả đều góp phần tạo nên một máy in 3D chocolate hoàn chỉnh về mặt thiết kế đến chế tạo và vận hành. Máy in 3D thực phẩm đã được chế tạo, vận hành, thử nghiệm in và xác định nhiệt độ chocolate phù hợp để in tạo mẫu sản phẩm là 35 °C. Quy trình và các thông số tạo tệp *.STL cũng được xác định nhằm hỗ trợ người thiết kế và tạo mẫu được tốt hơn. Ngoài ra, nghiên cứu này còn đề xuất quy trình bảo quản máy in 3D thực phẩm. Với các nội dung trình bày ở trên, máy in 3D với nguyên liệu chocolate cho thấy máy này có nhiều tiềm năng ứng dụng trong thực tế và đặc biệt ở thị trường Việt Nam vừa mới đề cập trong thời gian gần đây.

Tương lai nghiên cứu này sẽ: (1) phát triển hệ thống cấp liệu chocolate để có thể vừa in vừa nạp chocolate giúp in được các chi tiết lớn hơn; (2) thay đổi hệ thống đầu đùn trở nên gọn nhẹ và hiệu quả hơn; (3) gia công các xylanh khác chuyên dùng cho chocolate để có thể chịu nhiệt độ cao hơn; (4) nghiên cứu để máy in được nhiều loại vật liệu khác không chỉ giới hạn là chocolate; (5) máy có thể in được nhiều chi tiết phức tạp, tăng sự ổn định và tính đồng đều của các đường lớp khi in; (6) thiết kế hệ thống làm lạnh để chocolate đông nhanh hơn tạo độ vững chắc cho các chi tiết in 3D; và (7) nghiên cứu phương pháp để bơm chocolate vào xylanh một cách đơn giản nhất và rút ngắn thời gian chuẩn bị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Blog in 3D - Lược sử in 3D: Từ những hy vọng đầu tiên cho tới thời đại 4.0 (truy cập ngày 10/12/2019 tại <https://blogin3d.com/luoc-su-cong-nghe-in-3d.html>.)
2. Thu Thảo - 5 món hay nhất mà công nghệ in 3D làm được năm 2018, Báo Thanh niên 10/12/2018 (truy cập tại <https://thanhnien.vn/cong-nghe/5-mon-hay-nhat-ma-cong-nghe-in-3d-lam-duoc-nam-2018-1036700.html>.)
3. Dankar I., Haddarah A., Omar F.E.L., Sepulcre F., Pujolà M. - 3D printing technology: The new era for food customization and elaboration, Trends in Food Science & Technology **75** (2018) 231-242.
4. MesLab - Sự phát triển của công nghệ in 3D trên thế giới và Việt Nam (2019) (truy cập tại <https://meslab.vn/su-phat-trien-cua-cong-nghe-in-3d-tren-the-gioi-va-viet-nam>.)
5. In 3D ở Việt Nam: Vẫn chỉ mang tính thử nghiệm, Báo điện tử Chính phủ (2017) (truy cập tại: <http://baochinhphu.vn/Khoa-hoc-Cong-nghe/In-3D-o-Viet-Nam-Van-chi-mang-tinh-thu-nghiem/317783.vgp>).
6. Lanaro M., Forrestal D.P., Scheurer S., Slinger D.J., Liao S., Powell S.K., Woodruff M.A. - 3D printing complex chocolate objects: Platform design, optimization and evaluation, Journal of Food Engineering **215** (2017) 13-22.
7. Mantihal S., Prakash S., Godoi F.C., Bhandari B. - Optimization of chocolate 3D printing by correlating thermal and flow properties with 3D structure modeling, Innovative Food Science & Emerging Technologies **44** (2017) 21-29.
8. Godoi F.C., Prakash S., Bhandari B.R. - 3D printing technologies applied for food design: Status and prospects, Journal of Food Engineering **179** (2016) 44-54.

9. Takagishi K., Suzuki Y., Umezu S. - The high precision drawing method of chocolate utilizing electrostatic ink-jet printer, *Journal of Food Engineering* **216** (2018) 138-143.
10. Mantihal S., Prakash S., Bhandari B. - Textural modification of 3D printed dark chocolate by varying internal infill structure, *Food Research International* **121** (2019) 648-657.
11. Lanaro M., Desselle M.R., Woodruff M.A. - Chapter 6 - 3D Printing Chocolate: Properties of formulations for extrusion, sintering, binding and ink jetting, in Godoi F., Zhang M., Prakash S., Bhandari B. (Eds.) - *Fundamentals of 3D food printing and applications*, Academic Press, UK (2019) 151-173.
12. 3dprinter - Tự làm máy in 3D printer như thế nào và cấu tạo của máy in 3D, 3dmaker (2015) (truy cập tại: <http://www.3dmaker.vn/2015/08/tu-lam-may-in-3d-printer-nhu-the-nao/>).
13. Linhkien3d - Những linh kiện nào cần để tự ráp máy in 3D (2015) (truy cập tại: <http://www.linhkien3d.com/2015/08/nhung-linh-kien-nao-can-de-tu-rap-may-in-3d/>).
14. Wikiwand - Lịch sử máy in 3D (truy cập từ: https://www.wikiwand.com/vi/Prusa_i3#/overview).
15. Technologymag - So sánh các loại máy in 3D (2017) (truy cập tại: <https://www.technologymag.net/so-sanh-cac-loai-may-in-3d/>).
16. Wikipedia - Sô-cô-la (truy cập tại: <https://vi.wikipedia.org/wiki/Sô-cô-la>).
17. Nguyễn Vũ Quỳnh, Võ Quang Thu, Phạm Ngọc Việt, Quách Minh Sang - Thiết kế cải tiến đầu đùn socola cho máy in thực phẩm 3D, *Khoa Cơ điện - Điện tử*, Trường Đại học Lạc Hồng (2016) (truy cập tại: <https://123doc.net/document/4350304-thiet-ke-cai-tien-dau-dun-socola-cho-may-in-thuc-pham-3d.htm>).

ABSTRACT

RESEARCH, DESIGN AND MANUFACTURE OF CHOCOLATE FOOD 3D PRINTER

Nguyen Tran Phong, Vo Phuc Viet, Le Duy Trong,
Nguyen Huy Hoang, Pham Van Toan, Nguyen Huu Tho*
Ho Chi Minh City University of Food Industry
*Email: tho.nh@hufi.edu.vn

The 3D printing industry is a trend of the industrial revolution 4.0 and the trend of the future, gradually replacing the manufacture of products from simple to complex with just a few small steps. In recent years, the application of 3D printing technology in food has been attracting many researchers, especially in the field of food science. In Vietnam, this field has not been paid much attention. Therefore, this research seeks the existing foundations and wants to create a product that initially applies 3D printing technology in chocolate foods. This paper proposes mechanical and control structures for chocolate 3D printers for dining and decoration through summarizing conceptualization, computation and design, fabrication, assembly and experimental investigation. The results of printed samples of chocolate foods highlighted that the designed machine is capable of satisfying chocolate pattern, which is suitable for the design shape from CAD software.

Keywords: 3D printing technology, 3D printer, chocolate, food.