

# THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO TAY GẤP MỀM TRUYỀN ĐỘNG BẰNG KHÍ NÉN ỨNG DỤNG TRONG ROBOT LÀM CƠM HỘP

## DESIGN AND FABRICATION OF A SOFT PNEUMATIC ACTUATOR GRIPPER FOR BENTO BOX ROBOT

Lê Hoài Nam\*

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam<sup>1</sup>

\*Tác giả liên hệ / Corresponding author: lehoainam@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 09/7/2024; Sửa bài / Revised: 20/9/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 24/10/2024)

**Tóm tắt** - Bài báo này trình bày về việc thiết kế và chế tạo tay gấp mềm từ vật liệu siêu đàn hồi và được truyền động bằng khí nén ứng dụng trong hệ thống robot làm cơm hộp. Các ngón tay gấp mềm này được thiết kế dựa trên các nghiên cứu về thông số vật liệu cũng như hình thái học. Sau đó, các mẫu thiết kế được mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn trên phần mềm Abaqus để dự đoán ứng xử hoạt động của tay gấp thực tế. Cuối cùng, các mẫu thiết kế được chế tạo bằng phương pháp đúc khuôn và in 3D, trải qua 5 phiên bản và được thử nghiệm để đánh giá khả năng đáp ứng với yêu cầu đặt ra từ doanh nghiệp là có thể gấp được các loại thức ăn khác nhau mà không làm rơi vãi hay làm hư hỏng chúng.

**Từ khóa** - Gắp thức ăn; tay gấp mềm; vật liệu siêu đàn hồi; hình thái học; phương pháp phần tử hữu hạn

### 1. Đặt vấn đề

Trên thế giới nói chung và ở Nhật Bản nói riêng, việc sử dụng cơm hộp vào buổi trưa là rất phổ biến bởi sự đa dạng và tiện lợi của nó. Phần lớn các doanh nghiệp hoạt động trong ngành làm cơm hộp vẫn đang dùng nhân công để thực hiện công việc gắp các loại thức ăn vào hộp cơm, tốn nhiều thời gian mà năng suất lại không cao. Chính vì vậy, nhu cầu sử dụng các loại robot để tự động hoá một phần hoặc toàn phần quy trình làm cơm hộp là rất lớn. Tuy nhiên, việc gắp các loại thức ăn vào hộp cơm trong khâu đóng gói là công việc khó, đòi hỏi sự khéo léo, tỉ mỉ bởi sự đa dạng về hình dạng, kích thước, độ cứng mềm và kết cấu của các loại thức ăn [1]. Những tính chất này thật sự là trở ngại lớn đối với các loại tay gắp cơ khí truyền thống đang phổ biến hiện nay.

Trong những năm gần đây, tay gấp mềm đang là một lĩnh vực tiềm năng và được quan tâm, nghiên cứu nhiều bởi những ưu điểm của nó như khối lượng nhẹ, chi phí thấp, dễ dàng thích nghi với nhiều loại đối tượng gắp khác nhau và đặc biệt là an toàn với người dùng. Tay gấp mềm được nghiên cứu và chế tạo lần đầu tiên vào những năm 90 bởi nhóm nghiên cứu của Suzumori [2]. Họ đã tạo ra một tay gấp mềm với bốn ngón làm bằng cao su được gia cường bởi kết cấu khung sợi cùng ba khoang khí bên trong mỗi ngón và tiến hành các thí nghiệm với các chế độ gắp khác nhau. Theo thời gian, rất nhiều nghiên cứu và sản phẩm tay gấp mềm khác đã ra đời. Trong đó, nổi bật lên là tay gấp mềm được truyền động bằng khí nén. Tay gấp này có thể được thiết kế và mô phỏng trước bởi phương pháp phân tích phần tử hữu hạn (FEA), điều này giúp chúng ta có thể dễ dàng nghiên cứu sự thay đổi của các thông số hình học,

**Abstract** - This article presents the design and fabrication of a soft gripper made of hyperelastic materials and driven by pneumatics for application in a bento box robot system. The soft fingers are designed based on material properties and morphological studies. The design prototypes are then simulated using the finite element method in Abaqus software to predict the actual behavior of the gripper. Finally, the design prototypes are fabricated using molding and 3D printing methods, going through 5 versions, and are tested to evaluate their ability to grasp various food items without causing spillage or damage, as required by the company.

**Key words** - Food grasping; soft gripper; hyperelastic material; morphology; finite element method

vật liệu tác động như thế nào đến ứng xử của ngón tay. Các nghiên cứu trước đây về loại tay gấp này phải kể đến như của Polygerinos trong ứng dụng để làm găng tay mềm phục hồi chức năng bàn tay [3], Mosadegh trong việc thiết kế tay gấp mềm hoạt động với tốc độ nhanh [4], Zhongkui Wang trong việc so sánh các loại tay gấp mềm khác nhau về vật liệu và cách chế tạo [5], [6]. Ở Việt Nam, tác giả Phùng Văn Bình và cộng sự đã mô phỏng và tính toán động lực học quá trình gắp và giữ vật thể của tay gấp mềm được chế tạo bằng vật liệu Silicon RTV 225 [7].



Gà rán

Bánh bao

Súp lơ xanh

**Hình 1.** Hình dạng các mẫu thức ăn cần gắp

Theo sự đặt hàng của công ty TNHH Sun Field Việt Nam, nhóm tác giả đã nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và ứng dụng thành công tay gấp mềm truyền động bằng khí nén vào hệ thống robot làm cơm hộp. Yêu cầu kỹ thuật đặt ra từ phía công ty Sun Field bao gồm:

- Hệ thống gắp được 3 mẫu thức ăn bao gồm: gà rán, bánh bao, súp lơ xanh với độ cứng, hình dạng khác nhau, đường kính  $40\pm 5$ mm, khối lượng 30g (Hình 1);
- Sản phẩm không được hư, trầy, biến dạng hoặc bị rơi trong quá trình gắp;
- Cần đảm bảo việc vệ sinh tay gắp được dễ dàng.

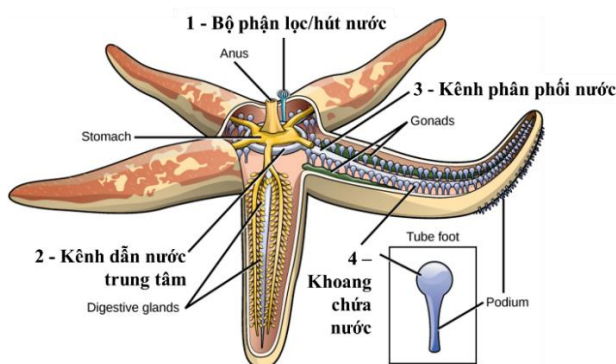
<sup>1</sup> The University of Danang - University of Science and Technology, Vietnam (Le Hoai Nam)

## 2. Kết quả nghiên cứu và khảo sát

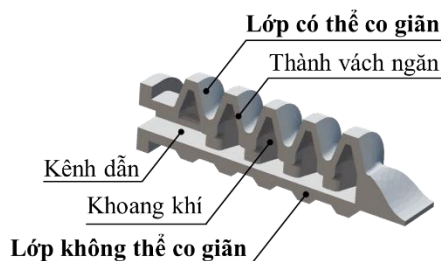
### 2.1. Thiết kế tay gấp mềm

#### 2.1.1. Cấu tạo và nguyên lý

Tay gấp mềm đề xuất trong bài báo này được lấy cảm hứng từ hoạt động co và duỗi chân của con sao biển khi di chuyển. Cấu tạo của sao biển được mô tả trong Hình 2. Sao biển dùng Bộ phận lọc/ hút nước 1 để hút và dẫn nước biển đi qua Kênh dẫn nước trung tâm 2 đến các Kênh phân phối nước 3 và cuối cùng là các khoang chứa nước 4. Khoang chứa nước của sao biển có thể phình ra khi được bơm nước vào và co lại khi bị rút nước ra. Hoạt động phình và co này của khoang chứa nước sẽ giúp chân sao biển co và duỗi được. Tay gấp mềm cũng sử dụng nguyên lý này để giúp các ngón tay cử động được bằng cách sử dụng khí nén thay vì nước biển.



Hình 2. Cấu tạo của con sao biển [8]



Hình 3. Hình cắt thể hiện cấu tạo của một ngón tay gấp mềm

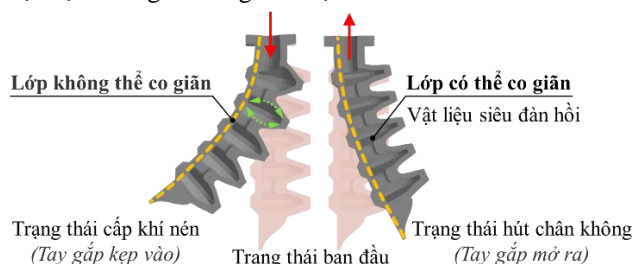
Dựa vào nguyên lý hoạt động được đề cập ở trên, một loạt mẫu thiết kế tay gấp mềm đã được đề xuất. Hình 3 và Hình 4 thể hiện cấu tạo và nguyên lý hoạt động chung của mẫu thiết kế tay gấp mềm cuối cùng. Các mẫu thiết kế khác sẽ được trình bày trong các Mục 2.3. Ta gọi đây là tay gấp mềm có hình thái học kiểu xếp nếp. Loại tay gấp mềm này được tạo bởi một kênh dẫn và các khoang khí bên trong một vật thể được làm từ vật liệu siêu đàn hồi (Hình 3). Các kênh dẫn này phình lên khi bị nén dưới áp suất dương (trạng thái được cấp khí nén) hoặc ngược lại, co lại khi bị nén dưới áp suất âm (trạng thái hút chân không). Các trạng thái này tạo ra chuyển động uốn cong của tay gấp mềm.

Bản chất của chuyển động này được điều khiển bằng cách thay đổi hình dáng hình học của các khoang khí và thay đổi tính chất vật liệu của thành vách ngăn khoang khí.

Khi tay gấp mềm được cấp khí nén, sự co giãn sẽ xảy ra trước tiên tại các vùng có độ cứng nhỏ nhất. Giả sử, nếu tay gấp mềm được tạo bởi một khối vật liệu siêu đàn hồi duy nhất và đồng nhất thì sự co giãn sẽ xảy ra tại nơi có thành vách ngăn mỏng nhất. Ta có thể chọn trước ứng xử

của tay gấp mềm bằng cách chọn các độ dày thành vách ngăn tương ứng với loại chuyển động mong muốn.

Ngoài ra, ta có thể kết hợp với việc sử dụng các vật liệu khác nhau để điều khiển được ứng xử của tay gấp mềm. Nếu tay gấp mềm được cấu tạo bởi các lớp vật liệu có ứng xử đàn hồi khác nhau (như Hình 4 gồm lớp có thể co giãn và lớp không thể co giãn), khi tay gấp được cấp khí nén, lớp vật liệu có thể co giãn được sẽ giãn nở nhiều hơn lớp vật liệu không thể co giãn được.



Hình 4. Nguyên lý hoạt động của một ngón tay gấp mềm

Như vậy, hai thông số chính của bản thân ngón tay gấp mềm ảnh hưởng đến ứng xử của nó là các thông số của vật liệu siêu đàn hồi dùng để chế tạo ngón tay gấp mềm và các thông số hình học của các ngón tay gấp mềm đó.

#### 2.1.2. Thông số vật liệu

Độ cứng của vật liệu dùng để chế tạo ngón tay gấp mềm ảnh hưởng đến việc cần bao nhiêu áp suất để đạt được độ cong cần thiết. Vật liệu có độ biến dạng lớn (lớp có thể co giãn) sẽ co giãn nhiều hơn ở cùng một áp suất so với vật liệu có độ biến dạng bé (lớp không thể co giãn). Điều này có nghĩa là ngón tay gấp mềm làm từ vật liệu mềm dẻo hơn có thể dễ dàng uốn cong mà không yêu cầu áp suất quá lớn. Tuy nhiên, nó lại có những nhược điểm là không thể cung cấp được lực kẹp lớn, thể tích của ngón tay gấp mềm phải tăng lên nhiều lần mới có thể đạt được độ cong cần thiết, đồng nghĩa với tốc độ kẹp của ngón tay gấp mềm chậm và bộ bên của vật liệu bị rút ngắn.

Bài báo [3] và [9] đã đề xuất một số loại vật liệu dùng cho cả hai lớp:

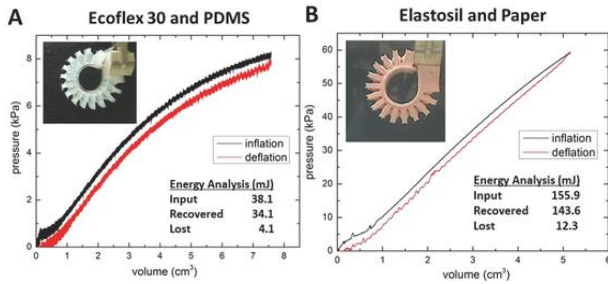
- Lớp có thể co giãn: Silicon Ecoflex của hãng Smooth-On, hoặc Silicon Elastosil M4601 của hãng Wacker Chemie AG, hoặc Silicon Dragon Skin 30A;

- Lớp không thể co giãn: Silicon PDMS của hãng Dow Corning, hoặc vải, hoặc giấy.

Việc thay đổi các vật liệu này và sử dụng chúng theo các cách kết hợp khác nhau dẫn đến ứng xử khác nhau của ngón tay gấp mềm. Trong bài báo [3], tác giả sử dụng hai cặp vật liệu là cặp Ecoflex 30 – PDMS và cặp Elastosil – giấy. Ecoflex 30 có độ biến dạng cao hơn Elastosil, kết quả là tay gấp mềm sử dụng vật liệu Ecoflex cần ít áp suất hơn để đạt cùng mức tăng thể tích so với tay gấp mềm sử dụng vật liệu Elastosil (Hình 5).

Như vậy, khi chọn vật liệu, cần cân nhắc lựa chọn và cân bằng giữa độ biến dạng của vật liệu và áp suất hoạt động mong muốn. Vật liệu có độ biến dạng lớn thì không thể cung cấp được lực kẹp lớn, khiến cho tốc độ kẹp của ngón tay gấp mềm chậm, tuy nhiên, ngón tay gấp mềm lại hoạt động ở áp suất thấp (tiết kiệm năng lượng hơn). Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng cặp vật liệu Ecoflex

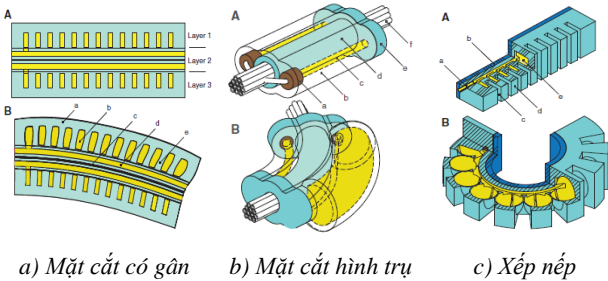
– giấy cho các phiên bản thử nghiệm đầu tiên và cặp vật liệu Silicon Dragon Skin 30A – giấy cho phiên bản cuối cùng. Các kết quả sẽ được bàn luận trong Mục 2.2 cũng như Mục 2.3.



Hình 5. So sánh ứng xử (độ tăng thể tích/áp suất cung cấp) của các ngón tay được chế tạo từ các cặp vật liệu khác nhau

2.1.3. Thông số hình học

Hình thái học của ngón tay gấp mềm ảnh hưởng lớn đến hoạt động và hiệu suất của tay gấp mềm. Ví dụ, chỉ cần thay đổi hình dạng của khoang khí là ứng xử của ngón tay gấp mềm đã thay đổi hoặc chỉ cần thay đổi thông số độ dày của thành khoang khí là độ cứng của ngón tay gấp mềm thay đổi [4]. Nhiều nghiên cứu gần đây đã mô phỏng và thực nghiệm ảnh hưởng của các hình dạng khác nhau (kiểu mặt cắt có gân – ribbed segment, kiểu hình trụ – cylindrical segment, kiểu xếp nếp – pleated) của khoang khí [10], [11] (Hình 6), chiều dài của ngón tay gấp mềm [12], độ rộng và hình dạng của khoang khí kiểu xếp nếp [13].

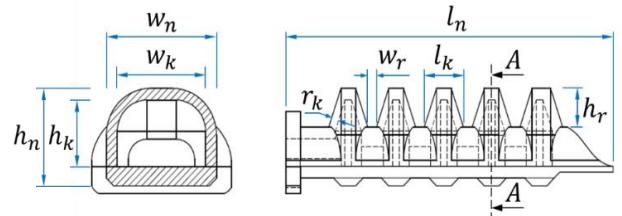


Hình 6. Các hình thái học khác nhau của khoang khí

Từ những nghiên cứu trên, nhóm tác giả nhận thấy, khoang khí có hình dạng kiểu xếp nếp có ứng xử tốt đối với hiệu suất của tay gấp mềm, giúp tay gấp mềm đạt được lực kẹp lớn nhất vì nó có khả năng nhận được lượng áp suất khí cấp vào lớn nhất. Nhóm tác giả đã đề xuất thiết kế ngón tay gấp mềm như Hình 7 và bảng thông số hình học như Bảng 1.

Bảng 1. Bảng thông số thiết kế của một ngón tay gấp mềm

STT	Thông số
1	Chiều cao ngón tay $h_n$
2	Chiều dài ngón tay $l_n$
3	Chiều rộng ngón tay $w_n$
4	Chiều cao khoang khí $h_k$
5	Chiều rộng khoang khí $w_k$
6	Chiều dài khoang khí $l_k$
7	Độ dày thành khoang khí $r_k$
8	Chiều rộng rãnh khoang khí $w_r$
9	Độ sâu rãnh khoang khí $h_r$



Mặt cắt A-A

Hình 7. Thiết kế ngón tay gấp mềm phiên bản cuối cùng

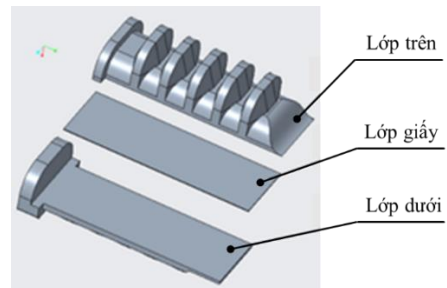
2.2. Mô phỏng ứng xử hoạt động

Trong phần này, nhóm tác giả tiến hành mô phỏng ứng xử của ngón tay và xem xét tác động của việc thay đổi các thông số khác nhau như tính chất vật liệu, thông số hình học mà không cần phải chế tạo và kiểm tra lại mỗi khi thay đổi thông số thiết kế. Điều này có ý nghĩa rất lớn trong việc tiết kiệm thời gian, công sức và vật liệu cho quá trình nghiên cứu. Quy trình mô phỏng ứng xử được trình bày cho phiên bản cuối cùng của ngón tay mềm, trong đó cặp vật liệu được sử dụng là Silicon Dragon Skin 30A – giấy.

Mô hình mô phỏng ứng xử hoạt động cho ngón tay gấp mềm phiên bản cuối cùng có các tính chất sau:

- 2 vật liệu:
  - + Silicon Dragon Skin 30A: Mô hình siêu đàn hồi Yeoh  $C_{10} = 0,1202$ ,  $C_{20} = 2,2204e-14$ ,  $C_{30} = 0,0018$ . Khối lượng riêng =  $1080 \text{ kg/m}^3$ ;
  - + Giấy: Mô-đun Young = 6,5 GPa. Tỉ số Poisson = 0,2. Khối lượng riêng =  $750 \text{ kg/m}^3$ .
- 2 phân vùng:
  - + Silicon Dragon Skin 30A: Được phân vào vùng có thể co giãn của ngón tay;
  - + Giấy: Được phân vào lớp không thể co giãn của ngón tay.
- 2 tải:
  - + Trọng lực, tác dụng lên toàn bộ ngón tay;
  - + Áp lực, tác dụng lên các bề mặt của khoang khí bên trong ngón tay.

Để chuẩn bị cho việc mô phỏng, một mô hình 3D của ngón tay đã được tạo bằng phần mềm PTC CREO. Mô hình bao gồm hai thành phần chính: lớp trên (phần có các khoang khí) và lớp dưới (phần đế). Hai thành phần này được làm từ vật liệu Silicon Dragon Skin30A và được phân cách bởi một lớp giấy dày 0,1mm, như minh họa trong Hình 8. Đặc tính của vật liệu này được mô tả bằng mô hình siêu đàn hồi Yeoh 3 kì (3-term Yeoh model).



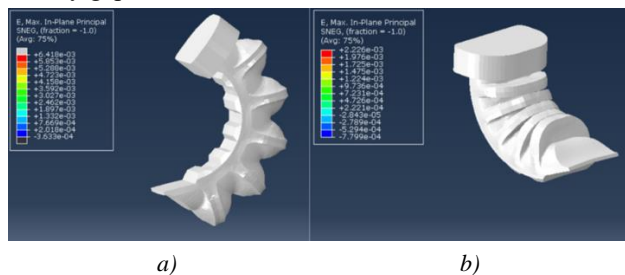
Hình 8. Cấu trúc các lớp của ngón tay gấp mềm

Mô phỏng FEM của ngón tay được tạo ra bằng cách sử dụng phần mềm Abaqus. Ngón tay được cố định ở một đầu,

giả thiết là được kết nối trực tiếp với đế của tay máy robot, và được mô hình hoá sử dụng đối xứng một nửa trong môi trường FEM. Lớp trên và lớp dưới được mô phỏng bằng các thành phần đặc (*solid element*), trong khi lớp giấy không co giãn được mô hình hoá bằng các thành phần vỏ (*shell element*).

Áp suất khí cấp vào ngón tay được nhập vào như một điều kiện biên áp suất, cho phép gia tăng tuyến tính theo thời gian từ giá trị thấp nhất đến giá trị mong muốn. Ngoài ra, giá trị trọng lực cũng được thêm vào mô hình để đánh giá ảnh hưởng của nó đối với khả năng vận hành của ngón tay gấp mềm.

Hình 9 cho chúng ta một ví dụ về kết quả mô phỏng ứng xử hoạt động của một ngón tay riêng lẻ dưới tác dụng lần lượt áp suất dương 20kPa và áp suất âm -20kPa. Đây là hai trạng thái cần thiết cho hoạt động gấp và thả thức ăn của tay gấp mềm.



**Hình 9.** Ngón tay dưới tác dụng của a) 20kPa và b) -20kPa

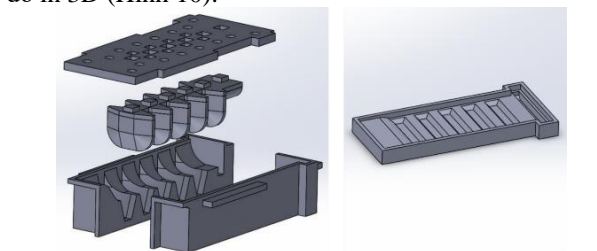
Kết quả mô phỏng cho phép nhóm tác giả dự đoán trước được phản ứng ứng xử hoạt động của ngón tay thực tế trước khi chế tạo. Ngoài ra, việc so sánh kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm ứng xử của ngón tay cũng giúp cho nhóm tác giả có thể đánh giá và lựa chọn giá trị các thông số hình học quan trọng để ngón tay có thể hoạt động hiệu quả nhất dưới cùng một số điều kiện biên (trọng lực và áp suất). Ví dụ, việc lựa chọn một thông số hình học quan trọng của ngón tay là độ dày thành khoang khí  $r_k$  sẽ ảnh hưởng đến hiệu quả hoạt động của ngón tay; nghiên cứu này được nhóm tác giả trình bày trong [14].

**2.3. Chế tạo và thử nghiệm**

Có nhiều phương pháp chế tạo ngón tay gấp mềm từ vật liệu siêu đàn hồi được trình bày trong [15]. Trong phạm vi bài báo này, nhóm tác giả chọn phương án rẻ tiền và sẵn sàng về công nghệ là đúc. Khuôn đúc được chế tạo bằng phương pháp in 3D.

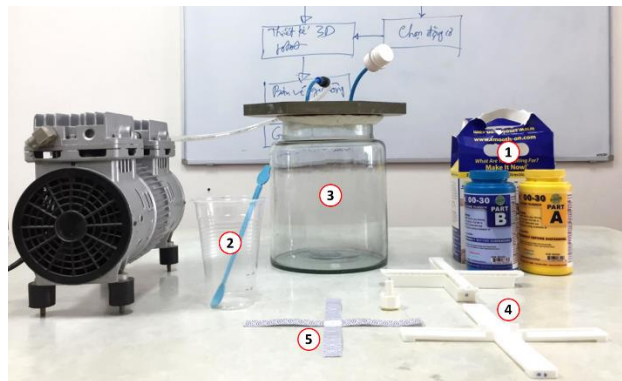
**2.3.1. Chuẩn bị**

Nhóm tác giả lựa chọn phương pháp đúc thủ công để chế tạo ngón tay gấp mềm. Khuôn đúc được thiết kế bằng phần mềm SolidWorks của công ty Dassault Systèmes, sau đó in 3D (Hình 10).



**Hình 10.** Khuôn đúc tay gấp mềm

Để phục vụ cho quá trình đúc, cần phải chuẩn bị một số vật dụng cơ bản được liệt kê trong Hình 11.



**Hình 11.** Các vật dụng cơ bản dùng để chế tạo tay gấp mềm  
1 – vật liệu Silicon Dragon Skin 30A, 2 – ly đựng và cây khuấy, 3 – buồng hút chân không, 4 – khuôn đúc, 5 – vật liệu có độ kéo giãn thấp dùng để gia cố cho phần đế

**2.3.2. Quá trình đúc**

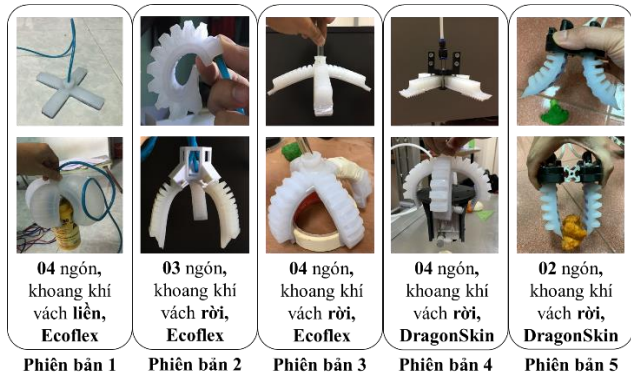
Quá trình đúc tay gấp mềm bao gồm 4 bước cơ bản được mô tả trong Hình 12.



**Hình 12.** Các bước cơ bản của quá trình đúc ngón tay gấp mềm,  
1 – khuấy silicon, 2 – khử bọt khí, 3 – rót silicon vào khuôn, 4 – tháo sản phẩm khỏi khuôn và lắp ghép

**2.3.3. Kết quả thử nghiệm các phiên bản**

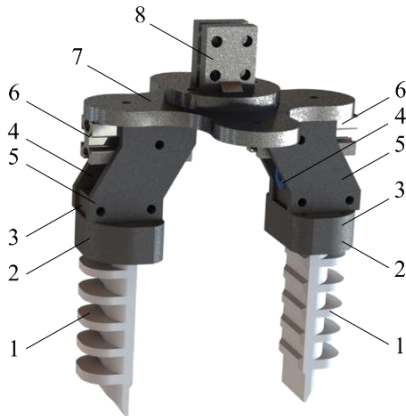
Đề có được phiên bản cuối cùng là tay gấp mềm gồm 2 ngón tay có thể co và duỗi tương ứng với 2 trạng thái gấp và thả thức ăn, nhóm tác giả đã trải qua việc mô phỏng và chế tạo thử nghiệm 4 phiên bản trước đó bao gồm các thử nghiệm về số ngón tay, hình thái khoang khí của ngón tay, một số kích thước hình học (của phiên bản cuối cùng), các cặp vật liệu sử dụng để chế tạo ngón tay (Hình 13).



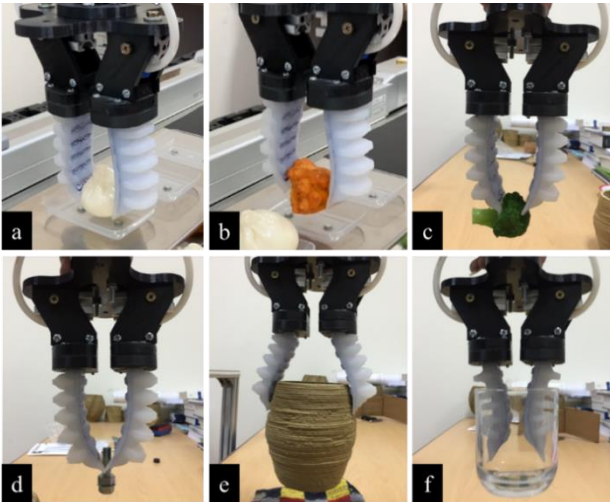
**Hình 13.** Các phiên bản thiết kế tay gấp mềm

Các ngón tay gấp mềm sẽ được lắp vào các tấm gá và đế gá (Hình 14) để tiến hành thử nghiệm gấp các vật khác nhau về hình dạng, kích thước và khối lượng để đánh giá hiệu quả hoạt động. Quá trình thử nghiệm gấp vật cho thấy, tay gấp mềm phiên bản cuối cùng đáp ứng tốt nhất việc gấp các mẫu thức ăn của bài toán đặt ra ban đầu (Hình 15a-b-

c). Ngoài ra, tay gấp mềm phiên bản cuối còn có thể gấp một số vật thể khác có kích thước lớn nhỏ và hình dạng khác nhau (Hình 15d-e-f).



**Hình 14.** Cấu tạo hoàn chỉnh của tay gấp mềm, trong đó 1 – ngón tay gấp mềm kiểu xếp nếp, 2 – nếp dưới, 3 – nếp trên, 4 – nút nổi khí, 5 – tấm nếp bên, 6 – rãnh trượt, 7 – tấm giá, 8 – đế



**Hình 15.** Thử nghiệm gấp các vật thể khác nhau, a - bánh bao, b - gà rán, c - súp lơ xanh, d - bulông M5, e - bình gốm, f - cốc thủy tinh

### 3. Kết luận

Tay gấp mềm gấp thả các loại thức ăn ứng dụng trong hệ thống robot làm cơm hộp được nhóm tác giả thiết kế, chế tạo và thử nghiệm thành công. Việc gấp thả thức ăn được đảm bảo đúng với yêu cầu gấp đủ chặt để thức ăn không bị rơi trong quá trình di chuyển nhưng đồng thời không làm hư hại thức ăn. Các công việc tiếp theo mà nhóm tác giả hướng đến trong thời gian tới là nghiên cứu việc cấy cảm biến lực vào ngón tay để có thể điều chỉnh lực kẹp tốt hơn với các loại thức ăn có độ mềm khác nhau; tích hợp tay gấp mềm này lên các loại robot khác nhau cũng như kết

hợp với phương pháp xử lý ảnh để nhận diện các loại thức ăn và gấp vào đúng vị trí yêu cầu.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi công ty Sun Field Việt Nam và sự giúp đỡ của các kỹ sư Huỳnh Trí Lễ, Nguyễn Văn Tấn và Võ Văn Quốc trong quá trình thiết kế, chế tạo và thực nghiệm.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. Iwamasa and S. Hirai, "Binding of food materials with a tension-sensitive elastic thread", in *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seattle*, 2015. p. 4298–4303.
- [2] K. Suzumori, S. Iikura, and H. Tanaka, "Development of flexible microactuator and its applications to robotic mechanisms", in *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Sacramento*, 1991. p. 1622–1627.
- [3] B. Mosadegh, *et al.*, "Pneumatic Networks for Soft Robotics that Actuate Rapidly", *Advanced Functional Materials*, vol. 24, no. 15, pp. 2163–2170, 2014.
- [4] P. Polygerinos, *et al.*, "Towards a soft pneumatic glove for hand rehabilitation", in *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference*, 2013, pp. 1512–1517.
- [5] Z. Wang, D.S. Chaturanga, and S. Hirai, "3D Printed Soft Gripper for Automatic Lunch Box Packing" in *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Qingdao, China*, 2016.
- [6] Z. Wang, M. Zhu, S. Kawamura, and S. Hirai, "Comparison of Different Soft Grippers for Lunch Box Packaging", *Robot. Biomim.*, 2017, pp. 4–10.
- [7] V.B. Phung, T.H. Nguyen, H. L. Le, A. T. Nguyen, and A.V. Tran, "Dynamic simulation research of the gripping process of a robotic soft gripper", *Journal of Science and Technique*, vol. 17, no. 04, pp. 54–69, 2022.
- [8] Lument Learning, "Phylum Echinodermata", *Lument Learning* [Online] Available: <https://courses.lumenlearning.com/wm-biology2/chapter/phylum-echinodermata/> [Accessed: July 9<sup>th</sup>, 2024].
- [9] Soft Robotics Toolkit, "Variation: Material", *Soft Robotics Toolkit*, [Online] Available: <https://softroboticstoolkit.com/book/pneunets-variation-material> [Accessed: July 9<sup>th</sup>, 2024].
- [10] A.D. Marchese, R.K. Katzschmann, and D. Rus, "A Recipe for Soft Fluidic Elastomer Robots", *Soft Robotics*, vol. 2, no. 1, pp. 7–25, 2015.
- [11] P. Boyraz, G. Runge, and A. Raatz, "An Overview of Novel Actuators for Soft Robotics", *Actuator*, vol. 7, no. 3:48, pp. 1–21, 2018.
- [12] Y. Hao *et al.*, "Universal soft pneumatic robotic gripper with variable effective length", in *Proceedings of the 35th Chinese Control Conference*, 2016, pp. 6109–6114.
- [13] Y. Hao *et al.*, "Modeling and experiments of a soft robotic gripper in amphibious environments", *International Journal of Advanced Robotics Systems*, vol. 14, no. 3, pp. 1–12, 2017.
- [14] H. N. Le, Q. V. Vo, H. P. V. Ngo, N. T. Vo, and A. D. Pham, "Behavior Analysis of Soft Pneumatic Actuator Gripper by using Image Processing Technology", in *Proceedings of The 2020 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2020), Beijing, China*, pp. 1798–1802, ISBN: 978-1-7281-1697-6, 2020.
- [15] J. Hughes, U. Culha, F. Giardina, F. Guenther, A. Rosendo, and F. Iida, "Soft Manipulators and Grippers: A Review", *Front. Robot. AI* vol. 3, 2016. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00069>.