

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM VÀ THỰC NGHIỆM CẮT BĂM PHỤ PHẨM CÂY NÔNG NGHIỆP

Ngô Quốc Huy¹, Nguyễn Thanh Toàn¹, Vũ Văn Đàm^{2*}

¹Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

²Khối cơ quan - Đại học Thái Nguyên

TÓM TẮT

Phụ phẩm cây nông nghiệp thường cần được cắt ngắn theo các kích cỡ khác nhau, tùy thuộc yêu cầu của công nghệ chế biến thức ăn gia súc hay tạo nhiên liệu sinh khối. Bài báo này trình bày nguyên tắc thiết kế, chế tạo và kết quả thực nghiệm đánh giá thiết bị thí nghiệm cắt băm phụ phẩm cây nông nghiệp nhằm tiết kiệm năng lượng. Thiết bị thí nghiệm chế tạo cho phép dễ dàng điều khiển đồng thời bốn thông số vào và thu thập dữ liệu ba thông số ra cho bài toán nghiên cứu thực nghiệm tối ưu hóa tiết kiệm năng lượng cho quá trình cắt băm phụ phẩm cây nông nghiệp. Kết quả nghiên cứu hứa hẹn tối ưu hóa thiết kế máy băm cắt thương mại và phục vụ công tác nghiên cứu.

Từ khóa: Cơ khí; băm cắt thân cây nông nghiệp; lực cắt; tiết kiệm năng lượng; thiết kế thí nghiệm

Ngày nhận bài: 25/4/2019; Ngày hoàn thiện: 02/5/2019; Ngày duyệt đăng: 07/5/2019

DESIGN AND REALIZE EXPERIMENTAL DEVICE FOR AGRICULTURAL STALK CHOPPING

Ngo Quoc Huy¹, Nguyen Thanh Toan¹, Vu Van Dam^{2*}

¹Thai Nguyen University of Technology - TNU

²Administration Office - TNU

ABSTRACT

Shortening agricultural residuals into different sizes is an important pre-process to make animal food and biomass. Reducing shearing force is one of the most effective way to save energy in such process. This paper presents design principles, manufacturing and practical tests to evaluate an experimental chopping device with the aim of energy consumption saving. The realized device provided abilities to easily control four input parameters as well as to accurately acquire three output factors, which are useful to solve the problem of energy saving optimization. The results are promising for practical applying in commercial chopping machines as well as for experimental studies.

Keywords: Mechanical engineering; agricultural residuals chopping; cutting force; energy saving; experimental design

Received: 25/4/2019; Revised: 02/5/2019; Approved: 07/5/2019

* Corresponding author: Tel: 0913 509437; Email: vudam@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Cắt băm là một công đoạn quan trọng ban đầu nhằm chế biến phụ phẩm cây nông nghiệp (thân, lá cây, vỏ) thành các nguyên nhiên liệu hữu ích [1,2]. Chẳng hạn, phụ phẩm cần được băm thành các đoạn dài 6,4 mm cho hóa khí [3], dài 1 mm cho chuyển đổi hóa học (chemical conversion) [4], 2-10 mm để ủ men thức ăn gia súc, hay dài cỡ 5-6 mm cho chế biến viên sinh khối (briquetting) [5]. Các máy băm cắt thường dựa trên hai nguyên lý cắt chính là dạng cắt kéo nhằm tạo ứng suất cắt và dạng dao quay nhằm sinh ra va đập kết hợp gây ứng suất cắt trong nguyên liệu cần cắt. Hiệu quả của quá trình cắt thường được đánh giá thông qua trị số lực cắt và năng lượng tiêu hao trên một đơn vị khối lượng cây nguyên liệu [2]. Để giải quyết bài toán tiết kiệm năng lượng, việc thiết kế các thông số cắt hợp lý (tối ưu) nhằm giảm lực cắt là một giải pháp hiệu quả nhất [6-8]. Đã có khá nhiều công trình trong nước nghiên cứu thiết kế và chế tạo máy băm phụ phẩm cây nông nghiệp [9-13], tuy nhiên những mẫu máy này chưa quan tâm nhiều đến bài toán tiết kiệm năng lượng – một trong những vấn đề nóng bỏng hiện nay. Bài toán tiết kiệm năng lượng trong băm cắt phụ phẩm nông nghiệp đã được nhiều nghiên cứu trên thế giới quan tâm [7, 14-18]. Tuy vậy, các tác giả mới quan tâm hai thông số tương quan là góc gá dao và góc băm thân cây [19], [20], [21] trong các nghiên cứu thực nghiệm tìm lực cắt nhỏ nhất. Các thiết bị nghiên cứu thường không cùng kết cấu với máy cắt băm thương mại, chẳng hạn thiết bị có dao chuyển động tịnh tiến [22], con lắc va đập [7] hoặc máy có đĩa quay nằm ngang [23]... Hiện cũng chưa tìm thấy nghiên cứu nào thực hiện đánh giá ảnh hưởng đồng thời của vận tốc cắt và cả ba góc tương quan giữa bó phụ phẩm với dao cắt. Do vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm: 1) thiết kế, chế tạo một máy băm thí nghiệm có kết cấu hoàn

toàn tương tự các máy băm cắt thương mại trên thị trường, thuận tiện cho việc áp dụng kết quả thí nghiệm vào thực tiễn; 2) có thể điều khiển cả bốn thông số vào, gồm vận tốc cắt và ba góc tương quan giữa thân cây phụ phẩm nông nghiệp với dao cắt và 3) thu thập chính xác 3 thông số quan trọng của bài toán tiết kiệm năng lượng: lực cắt, mô men xoắn trục mang dao và năng lượng riêng tiêu hao.

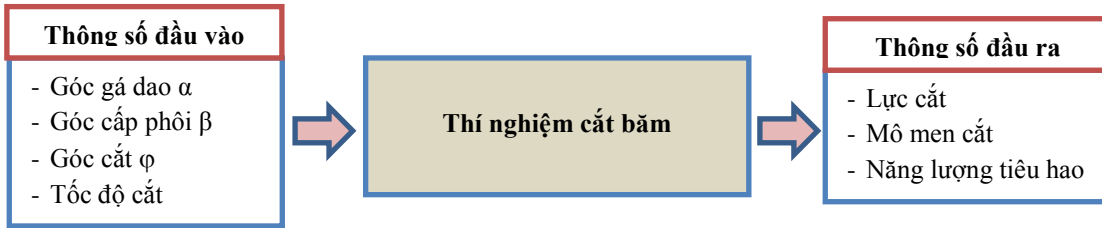
2. Nguyên tắc thiết kế

Yêu cầu chung của một thiết bị thí nghiệm bao gồm: khả năng dễ dàng điều khiển các thông số vào; cho phép thu thập chính xác và thuận tiện các thông số đầu ra, phản ánh sát thực với quá trình làm việc thực tế của các máy thương mại tương tự. Với bài toán khảo sát động lực học nhằm tối ưu hóa năng lượng tiêu hao trong quá trình băm cắt phụ phẩm cây nông nghiệp, các yêu cầu đặt ra là:

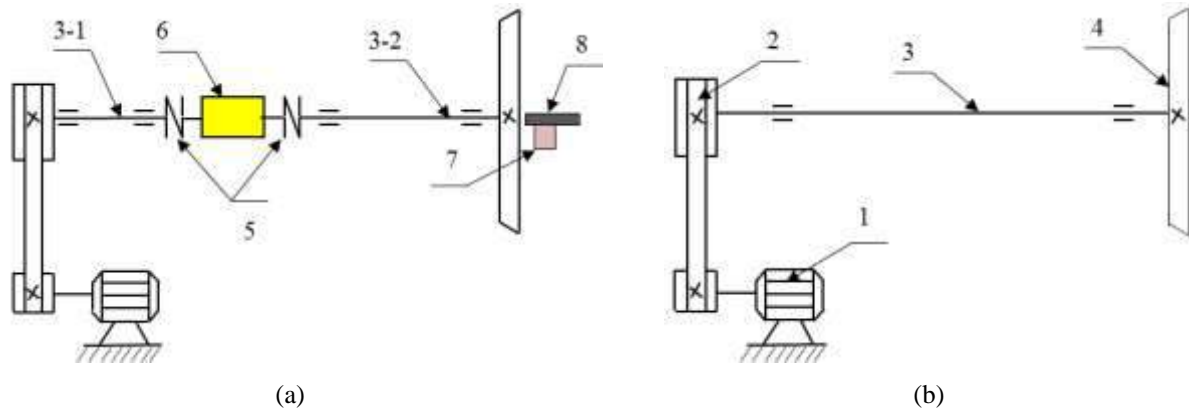
- Cho phép thay đổi các góc tương quan giữa thân cây và dao cắt;
- Cho phép điều chỉnh vô cấp vận tốc cắt;
- Có chức năng thu thập dữ liệu về lực cắt, mô men cắt, năng lượng cắt cần thiết.

Các thông số vào-ra phục vụ bài toán nghiên cứu thực nghiệm máy băm cắt phụ phẩm cây nông nghiệp được minh họa như sơ đồ trên Hình 1.

Một kết cấu thiết bị thí nghiệm cắt băm sử dụng dạng dao quay được đề xuất như minh họa trên Hình 2a. Trên Hình 2a, trục dẫn động gồm hai đoạn trục (3-1) và (3-2) truyền chuyển động từ động cơ (1) qua bộ truyền đai (2) và mô men cho đĩa dao phẳng (4). Cảm biến đo mô men xoắn (Torque sensor) (6) được lắp giữa hai đoạn trục (3-1) và (3-2) nhờ khớp nối (5). Một cảm biến đo lực được lắp bên dưới dao kê (8). Kết cấu này rất tương tự kết cấu một máy băm thương mại dùng dao phẳng quay như minh họa trên Hình 2b.

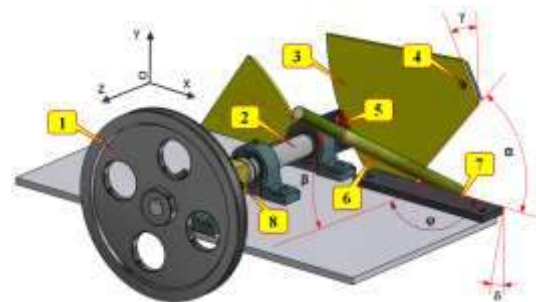


Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm cần thực hiện



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý truyền động thiết bị băm cắt
(a) Kết cấu đề xuất; (b) Kết cấu máy thương mại sẵn có

Quan sát Hình 2, có thể thấy sơ đồ đề xuất chỉ khác sơ đồ kết cấu của máy thương mại sẵn có ở kết cấu trục 3 và tấm kê 8. Bên cạnh yêu cầu bổ sung đầu đo momen (6) cho trục 3, cần xử lý kết cấu tấm kê sao cho lực băm có thể truyền đến đầu đo lực (7). Quan phân tích về kết cấu cơ khí, việc phát triển thiết bị thí nghiệm từ máy băm thương mại hiện có là rất khả thi. Điều này không những tiết kiệm được kinh phí nếu chế tạo toàn bộ kết cấu cho một máy băm đơn chiếc, mà còn cho phép thu thập, phân tích và đánh giá các tồn tại và đề xuất hướng cải tiến các máy băm thương mại hiện có. Sơ đồ kết cấu trên Hình 2a được phát triển thành dạng 3D như trên Hình 3. Trên Hình 3, mô men xoắn từ động cơ truyền đến bánh đai bị động (1), qua trục (2) truyền đến dao quay (3). Dao được gá trên cánh gá nhờ vít cố định (4) và má kẹp (5), cho phép thiết lập góc gá dao α ở vị trí bất kỳ. Thân cây nguyên liệu cần cắt (6) nằm giữa dao cắt (4) và tấm kê (7), có góc cấp phôi β cũng được thiết đặt tùy ý khi thí nghiệm nhờ một máng dẫn (Xem Hình 4). Góc băm φ cũng có thể dễ dàng thiết đặt khi thí nghiệm.



Hình 3. Mô hình kết cấu dạng 3D

Trên Hình 3 cũng minh họa góc sắc của dao cắt γ và góc sắc của dao kê δ . Các góc này được cố định trong một bộ thí nghiệm, nhưng cũng có thể thay đổi bằng cách sử dụng các bộ dao khác nhau. Đầu đo momen (8) được gá đặt như một khớp nối cho trục (2), truyền momen từ bánh đai (1) sang dao (4).

3. Chế tạo, lắp ráp

3.1 Kết cấu cơ khí

Hình 4 minh họa ảnh chụp một số kết cấu thực của thiết bị đã được cải tiến. Các chi tiết trên Hình 4 được đánh số giống như trên Hình 3 để tiện theo dõi. Dao cắt (3) được chế tạo hình dẻ quạt để có thể điều chỉnh thay đổi góc gá dao α . Lưu ý rằng các dao cắt trên máy cắt

thương mại thường có dạng thanh thẳng, được gắn cố định trên thanh đỡ giá vuông góc với trục quay, tạo thành góc α cố định khoảng 0° . Góc cấp phôi được điều chỉnh nhờ sử dụng kết cấu rãnh xoay (9) như minh họa trên Hình 4(b).

Thông số vận tốc cắt được thay đổi bằng cách sử dụng động cơ điện một chiều để dẫn động cho hệ thống. Động cơ này có tốc độ quay tỷ lệ bậc nhất với điện áp được cấp.

3.2 Thiết bị đo

Đầu đo lực Kistler 9712A500 có phạm vi đo 2224N (500 lbf), độ nhạy 2,4729 mV/N (11 mV/lbf) được sử dụng để thu thập giá trị lực cắt. Lực cắt thông qua cây nguyên liệu tác động lên đầu đo được chuyển đổi thành tín hiệu điện áp. Mômen cắt truyền qua đầu đo mô-men RTT-200 của hãng hiệu Sturtevant Richmant. Đầu đo này có phạm vi đo 338,95 Nm (3000 inch-pounds), độ nhạy 2 mV/V. Tín hiệu từ các đầu đo được kết nối với bộ xử lý tín hiệu NI-SCC68, sau đó được lưu trữ vào máy tính thông qua bộ thu thập dữ liệu USB-6008 và phần mềm NI-Labview Signal Express. Đồng hồ đo điện đa năng Smart Power Meter PZEM-021 được sử dụng để đo công suất và năng lượng tiêu thụ khi cắt. Thiết bị này cho phép đo công suất đến 4500

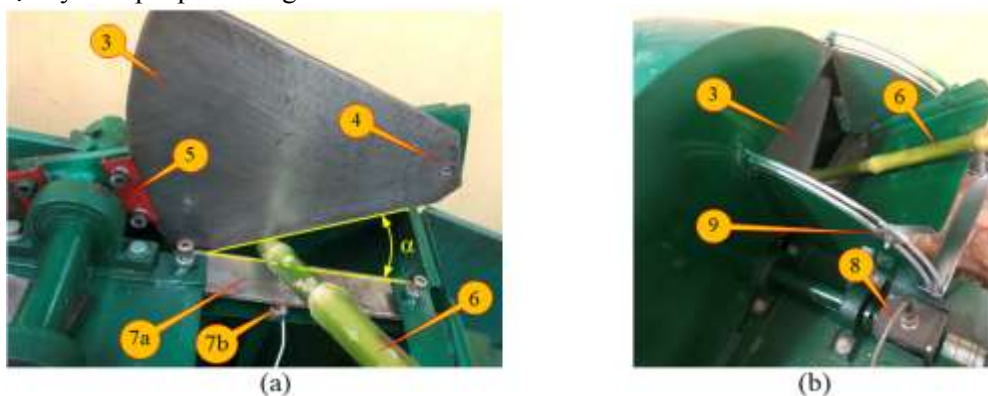
W với độ phân giải 1 W, đo năng lượng tiêu thụ đến 9999 Wh với độ phân giải 1 Wh. Để đo công suất cắt và năng lượng tiêu thụ, cần đầu động cơ kèm bộ biến đổi điện áp và nắn dòng với đầu ra của thiết bị đo điện đa năng. Đầu vào của thiết bị đo điện được kết nối với nguồn cấp 220 V.

4. Thực nghiệm đánh giá

Để đánh giá khả năng đáp ứng các yêu cầu thực hiện các thí nghiệm phục vụ nghiên cứu đánh giá lực cắt và năng lượng tiêu hao, hai bộ thí nghiệm đã được thực hiện: 1) Đánh giá khả năng của các đầu đo phản ánh đúng đắn lực phát sinh khi cắt thân cây nguyên liệu và 2) Thực hiện bộ thí nghiệm khảo sát ba biến hai mức đánh giá mức độ ảnh hưởng đến lực cắt.

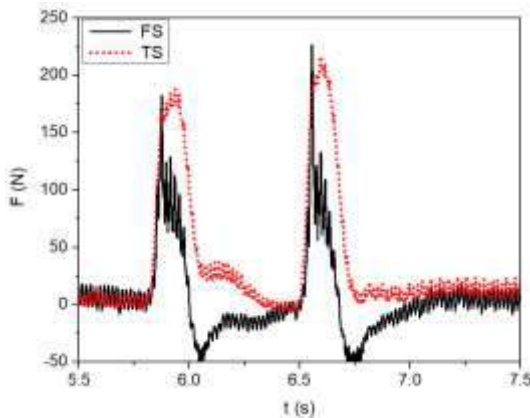
4.1 Đánh giá khả năng đo lực cắt

Trước hết, đầu đo mô men được kiểm chuẩn bằng cách treo các quả cân thí nghiệm có khối lượng biết trước lên cánh tay đòn xác định. Tiếp đó, tiến hành thí nghiệm bằng cách tạo mô men xoắn truyền đến trục mang dao với tốc độ chậm. Lực phát sinh khi cắt được thu thập đồng thời từ cả hai đầu đo. Hình 5 minh họa kết quả diễn biến lực đo bằng hai đầu đo tại hai thời điểm cắt thân cây.



Hình 4. Ảnh chụp kết cấu gá dao và tâm kê của thiết bị: a) góc nhìn thẳng; b) góc nhìn bên

Trên Hình 5, giá trị lực thu được từ đầu đo lực động được ký hiệu FS (Force Sensor), giá trị lực thu được từ đầu đo mô men được ký hiệu là TS (Torque Sensor). Có thể nhận thấy tại thời điểm xảy ra quá trình cắt, lực đo bằng cả hai đầu đo đều tăng nhanh. Giá trị lực lớn nhất đo được của lực cắt đo bằng hai đầu đo xấp xỉ nhau. Như vậy, cả hai đầu đo đều phản ánh tin cậy lực cắt thân cây. Trong các thí nghiệm dự kiến thực hiện, đầu đo lực sẽ được dùng để đo lực cắt, còn đầu đo mô men sẽ được sử dụng để kiểm chứng tác động của quán tính khi quay của hệ thống.



Hình 5. So sánh lực đo bằng hai cảm biến

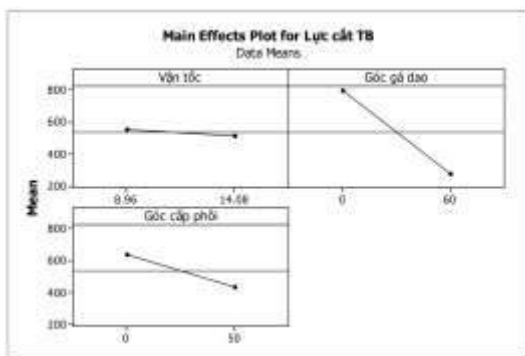
4.2 Thí nghiệm khảo sát

Để đánh giá khả năng đáp ứng của hệ thống thiết bị cho các thí nghiệm nghiên cứu sâu hơn về động lực học hệ thống băm cắt, tiến hành một bộ thí nghiệm khảo sát theo kế hoạch 2 mức đầy đủ 2^k . Ba biến được khảo sát và các giá trị thí nghiệm được mô tả trong bảng 1.

Bảng 1. Các biến thí nghiệm khảo sát

| Tên biến đầu vào | Min | Max |
|-----------------------------|------|-------|
| Vận tốc cắt (V; m/s) | 8,96 | 14,08 |
| Góc gá dao (α ; °) | 0 | 60 |
| Góc cấp phôi (β , °) | 0 | 50 |

Kết quả đo lực cắt trung bình khi cắt từng thân cây ngô được thu thập và phân tích thống kê bằng phần mềm Minitab(R). Hình 6 mô tả kết quả phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào (các biến thí nghiệm).

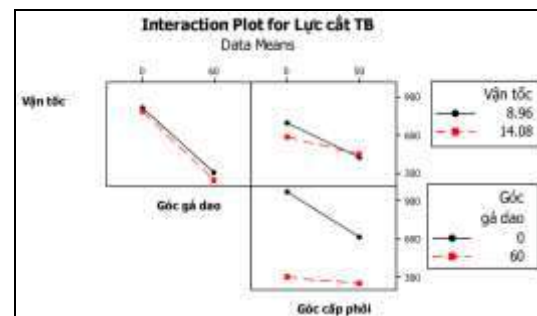


Hình 6. Ảnh hưởng của các yếu tố đến lực cắt

Qua Hình 6, có thể thấy cả ba yếu tố được khảo sát đều có ảnh hưởng đáng kể đến lực cắt. Góc gá dao α có ảnh hưởng mạnh nhất,

tiếp đó là góc cấp phôi β , cuối cùng là vận tốc cắt V. Lưu ý rằng, các nghiên cứu trước đây hầu như chưa quan tâm đến ảnh hưởng của góc cấp phôi β . Thêm nữa, các máy cắt băm thương mại hiện nay đa số sử dụng dao thẳng có góc gá dao bằng không độ. Đây sẽ là những nhận định quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm tiết kiệm năng lượng tiêu hao cho các máy cắt băm phụ phẩm nông nghiệp.

Hình 7 mô tả kết quả phân tích ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố thí nghiệm. Như có thể thấy trên Hình 7, vận tốc cắt và góc gá dao không có ảnh hưởng tương tác với nhau. Hai cặp còn lại, vận tốc cắt và góc cấp phôi, góc cấp phôi và góc gá dao đều có ảnh hưởng tương tác lẫn nhau. Đây là những thông tin quan trọng để phát triển các mô hình toán học mô tả hàm lực cắt sau này.



Hình 7. Ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố

5. Kết luận và đề xuất

Một thiết bị thí nghiệm hoàn chỉnh đã được phát triển dựa trên một máy băm cắt thân cây nông nghiệp thương mại. Bằng cách thay đổi kết cấu cơ khí và bổ sung các thiết bị đo cần thiết, thiết bị thí nghiệm này vừa có thể tiến hành băm cắt bình thường như chức năng của máy thương mại, vừa có thể thu thập đầy đủ các dữ liệu cần thiết phục vụ nghiên cứu. Điều này cho phép tiến hành thí nghiệm sát với điều kiện vận hành thực tiễn hơn. Kết quả cho thấy, thiết bị đáp ứng tốt yêu cầu triển khai thí nghiệm theo lý thuyết quy hoạch thực nghiệm, đồng thời chỉ ra một số hướng nghiên cứu khả thi và hữu ích tiếp sau.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài nghiên cứu khoa học mã số ĐH2018-TN01-02 của Đại học Thái Nguyên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. F. Demirbas, M. Balat, and H. Balat, "Potential contribution of biomass to the sustainable energy development," *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp. 1746-1760, 2009.
- [2]. C. Y. Li, H. L. Jia, Z. H. Zhang, and G. Wang, "Bionic Sawblade Based on Grasshopper Incisor for Corn Stalk Cutting," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 461, pp. 491-498, 2013.
- [3]. K. P. Raman, W. P. Walawender, Y. Shimizu, and L. T. Fan, "Gasification of corn stover in a fluidized bed," *ASAE Publication*, vol. 2, pp. 335-337, 1981.
- [4]. G. P. Van Walsum, S. G. Allen, M. J. Spencer, M. S. Laser, M. J. Antal Jr, and L. R. Lynd, "Conversion of lignocellulosics pretreated with liquid hot water to ethanol," *Applied Biochemistry and Biotechnology - Part A Enzyme Engineering and Biotechnology*, vol. 57-58, pp. 157-170, 1996.
- [5]. S. Mani, L. G. Tabil, and S. Sokhansanj, "Specific energy requirement for compacting corn stover," *Bioresource Technology*, vol. 97, pp. 1420-1426, 2006.
- [6]. C. Igathinathane, L. O. Pordesimo, M. W. Schilling, and E. P. Columbus, "Fast and simple measurement of cutting energy requirement of plant stalk and prediction model development," *Industrial Crops and Products*, vol. 33, pp. 518-523, 2011.
- [7]. A. R. A. M. Azadbakht, K. Tamaskani Zahedi, "Energy Requirement for Cutting Corn Stalks," *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, vol. 8, 2014.
- [8]. M. R. A. Alireza Allameh, "Specific cutting energy variations under different rice stem cultivars and blade parameters," vol. 34, pp. 11-17, 2016.
- [9]. Huỳnh Thanh Bánh và Phan Tấn Tài, "Thiết kế, chế tạo máy cắt băm chuối liên hợp phục vụ chăn nuôi," *Tạp chí Khoa học Công nghệ - Môi trường Đại học Trà Vinh*, vol. 23, tr. 42-47, 2016.
- [10]. Bùi Việt Đức và Đỗ Hữu Quyết, "Kết quả bước đầu nghiên cứu thiết kế chế tạo máy cắt băm cây ngô làm thức ăn cho đại gia súc," *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*, vol. 15, pp. 1102-1108, 2017.
- [11]. Đoàn Văn Cao, "Nghiên cứu thiết kế, chế tạo máy băm thân cây ngô tươi làm thức ăn ủ men cho bò năng suất 35 tấn/ ngày," Đề tài NCKH cấp Bộ, Bộ Công Thương, 2009.
- [12]. Nguyễn Văn Tam, "Nghiên cứu thiết kế chế tạo bộ phận băm thái rom liên hợp với bộ phận đập của máy đập-băm thái," Luận án Tiến sỹ, Học viện Nông nghiệp Việt Nam, 2014.
- [13]. Lương Văn Vượt, "Kết quả nghiên cứu một số thông số của mẫu máy băm thái rom rạ làm nguyên liệu trồng nấm ăn quy mô cụm hộ gia đình," *Nông nghiệp - Nông thôn - Môi trường*, vol. 2, tr. 32-35, 2006.
- [14]. Z. Chen and G. Qu, "Shearing Characteristics of Corn Stalk Pith for Separation," *BioResources; Vol 12, No 2 (2017)*, 02/06/ 2017.
- [15]. E. C. I. Aygun, "Development and Determination of the field performance of Stalk choppers equipped with Different Blade configurations," *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, vol. 20, pp. 1268-1271, 2014.
- [16]. S. K. T. Mrudulata Deshmukh, "Effect of Blade Parameters on Force for Cutting Sorghum Stalk," *Agriculture: Towards a New Paradigm of Sustainability* pp. 123-130, 2015.
- [17]. K. Tian, X. Li, B. Zhang, Q. Chen, C. Shen, and J. Huang, "Design and Test Research on Cutting Blade of Corn Harvester Based on Bionic Principle," *Appl Bionics Biomech*, vol. 2017, p. 6953786, 2017.
- [18]. J. Tong, S. Xu, D. Chen, and M. Li, "Design of a Bionic Blade for Vegetable Chopper," *Journal of Bionic Engineering*, vol. 14, pp. 163-171, 2017.
- [19]. O. Ghahraei, D. Ahmad, K. Abdan, H. Suryanto, and J. Othman, *Cutting Tests of Kenaf Stems* vol. 54, 2011.
- [20]. C. P. Gupta and M. Oduori, *Design of the Revolving Knife-type Sugarcane Basecutter* vol. 35, 1992.
- [21]. D. A. O. Ghahraei, A. Khalina, H. Suryanto, J. Othman, "Cutting tests of kenaf stems," *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, vol. Vol. 54(1), pp. 51-56, 2011.
- [22]. C. Igathinathane, A. R. Womac, and S. Sokhansanj, "Corn stalk orientation effect on mechanical cutting," *Biosystems Engineering*, vol. 107, pp. 97-106, 2010.
- [23]. M. K. Omid Ghahrae, Desa Bin Ahmad, "Design and development of special cutting system for sweet sorghum harvester," *Journal of Central European Agriculture*, vol. 9, pp. 469-474, 2008.